

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ И. М. Блянкинштейн
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 20 ____ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Управление ресурсом шин на основе использования систем мониторинга
транспортных средств

тема

23.04.03 "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов"

код и наименование направления

23.04.03.02 "Профилактика, надежность и безопасность на транспорте"

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель _____ д-р. техн. наук, проф. И.М. Блянкинштейн
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ И.М. Колесников
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ Ген. Директор ОАО «А/К 1967» М.Т. Ильянков
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ И. М. Блянкинштейн

подпись инициалы, фамилия

«_____» _____ 20 __ г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Магистранту Колесникову Игорю Михайловичу

(фамилия, имя, отчество магистранта)

Группа ФТ15-04М Направление (специальность) 23.04.03

(код)

Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы

«Управление ресурсом шин на основе использования систем мониторинга транспортных средств»

Утверждена приказом по университету № 17045/Г от 10.11.15

Руководитель ВКР И. М. Блянкиштейн, д-р. техн. наук, профессор

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: Предприятие – ОАО «Автоколонна 1967», списочный состав $A_c = 71$ ед; среднесуточный пробег $l_{cc} = 329$ км; дни работы в году – $D_{pz} = 365$ (для зон ТО, диагностики и производственных участков $D_{pzTO} = 243$; климатический регион – холодный; категория условий эксплуатации – III; количество смен в сутки: бригада ТО-1 – 1 смена, бригада ТО-2 – 1 смена, ТР – 1 смена, производственные участки – 1 смена; продолжительность смены: бригада ТО-1 – 8 ч, бригада ТО-2 – 8 ч, ТР – 8 ч, и производственные участки – 8 ч.

Перечень разделов ВКР: Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования; Глава 2. Теоретические исследования с использованием теории планирования многофакторного эксперимента; Глава 3. Экспериментальные исследования. Представление результатов; Глава 4. Результаты исследования. Представление результатов

Перечень графического материала: Презентация

Руководитель ВКР _____ д-р.техн.наук, проф. И. М. Блянкиштейн

подпись

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению _____ И. М. Колесников

подпись, инициалы и фамилия магистранта

« ____ » _____ 20__ г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему «Управление ресурсом шин на основе использования систем мониторинга транспортных средств» содержит 134 страницы текстового документа, 26 таблиц, 106 формул, 32 рисунка, 71 использованный источник и презентацию.

АВТОБУСЫ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА ШИН, ДАВЛЕНИЕ В ШИНЕ, ВЕСОВАЯ НАГРУЗКА НА ШИНУ, ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ, СИСТЕМА МОНИТОРИНГА, ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА, СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ.

Целью диссертационной работы являлось исследование вопросов управления ресурсом шин на основе использования систем мониторинга транспортных средств.

Актуальность работы заключается в поиске методов и оборудования, позволяющих увеличить ресурс шин и снизить расход топлива.

В результате исследования методом планирования эксперимента разработаны регрессионные модели, позволяющие прогнозировать интенсивность износа протектора шин в зависимости от эксплуатационных факторов: давления в шине и весовой нагрузки на шину.

В итоге для снижения интенсивности износа и расхода топлива, обосновано применение системы мониторинга давления в шинах, что позволит повысить ресурс шин на 12%, снизить расходы на шины и топливо, а так же снизить выбросы в окружающую среду вредных токсических веществ, обладающих канцерогенным эффектом.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	16
1.1 Анализ научно-исследовательских работ по теме исследования.....	16
1.2 Выявление и классификация основных групп факторов, влияющих на срок службы и интенсивность износа шины	35
1.2.1 Давление воздуха в шине	38
1.2.2 Нагрузка на шину	42
1.2.3 Скорость движения	43
1.2.4 Техническое состояние.....	44
1.2.5 Неоднородность колес и дисбаланс	45
1.2.6 Дорожные и климатические условия	46
1.3 Существующие системы контроля давления шин на предприятии	48
1.4 Системы мониторинга давления в шинах	49
1.4.1 Виды систем мониторинга давления в шинах	51
1.5 Анализ шин и подвижного состава на предприятии.....	56
1.5.1 Характеристика исследуемого подвижного состава	56
1.5.2 Характеристики и ходимость шин	58
1.6 Методы оценки интенсивности износа шин.....	63
1.7 Цель, задачи и общая методика исследования	68
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	72
2.1 Определение факторов для учета в регрессионной модели и их влияние на интенсивность износа шин.....	72
2.2 Интерпретирование модели процесса интенсивности износа шин в виде «черного ящика».....	74
2.3 Методика планирования многофакторного эксперимента.....	77
2.4 Выбор уравнения регрессии	80
2.5 Построение матрицы планирования эксперимента	82
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	84
3.1 Оценка точности метода измерения интенсивности износа шин	84
3.2 Проведение эксперимента.....	86
3.3 Множественный регрессионный анализ результатов.....	92
3.4 Оценка адекватности моделей	95

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ	109
4.1 Интерпретация результатов исследования.....	109
4.2 Моделирование ресурса шин в зависимости от уровня варьирования факторов	113
4.3 Экономический эффект от использования системы мониторинга	116
4.4 Оценка эффективности инвестиций на внедрение системы мониторинга	119
4.5 Оценка экологического эффекта от внедрения системы мониторинга	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	134
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	135

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Доставка автомобильным транспортом на сегодняшний день является самым востребованным видом доставки грузов и пассажиров не только в России, но и во всем мире. Так, по данным федеральной службы государственной статистики за 2016 год [42], автомобильным транспортом было перевезено 5041 млн. тонн груза, что составляет 67,5 % грузоперевозок России по всем видам транспорта. Аналогичная ситуация и с пассажироперевозками: 13 166 млн. человек или 68,9 %. Учитывая большие объемы автомобильных перевозок и их социально-экономическую значимость, проблема повышения эффективности автомобильного транспорта является весьма актуальной. Как указано в работе [53], эффективность автомобильного транспорта зависит не только от организации перевозок или технического состояния подвижного состава, но и от эксплуатационных характеристик и срока службы шин. Мнение авторов можно объяснить тем, что шина является одним из наиболее дорогостоящих элементов конструкции автомобиля, а затраты на поддержание и восстановление работоспособности шины занимают второе место после затрат на топливо.

Снизить затраты на шины можно увеличением показателей ее долговечности, на которые влияет множество факторов. Эти факторы можно выделить в две группы: управляемые и неуправляемые. Управляемые факторы – это факторы, на которые можно влиять для управления ресурсом шин, к ним относятся: давление в шине, дисбаланс (статический и динамический), состояние подвески, нагрузка на автомобиль, скорость движения и мастерство вождения. К неуправляемым относятся: дорожные и природно-климатические условия, а также условия движения. Все перечисленные управляемые факторы, так или иначе, контролируются технической службой на АТП, однако контролю давления зачастую уделяется мало внимания, а чаще всего и вовсе им пренебрегается. В результате чего, в 60 – 90% шин при эксплуатации имеют

давление выше или ниже нормы, из-за несоблюдения нормы давления в шине, теряется 6 – 15% ресурса шин и 1,5 – 6,0% топлива.

Проблема контроля давления в шинах вызвана отсутствием нормативных документов, регламентирующих в обязательном порядке осуществлять непрерывный контроль за давлением в шинах, а также отсутствием рекомендаций по использованию методов контроля. В западных странах эта проблема уже давно решена. В США в ноябре 2000 года конгрессом США был одобрен акт The TREAD (Transportation Recall Enhancement, Accountability, and Documentation) Act, согласно которому в автомобилях должна существовать система проверки и сигнализации о значительно недостаточном давлении в шинах. На сегодняшний день в США функционирует федеральный стандарт «Federal Motor Vehicle Safety Standard» (FMVSS) №138, разработанный Национальной Администрацией шоссейного движения NHTSA, предписывающий обязательную установку систем мониторинга давления в шинах. Существует так же международный стандарт ISO/DFIS 21750, опубликованный в марте 2006 года. Эти стандарты поддерживают базовые требования американского стандарта. В настоящее время в Европе действуют правила ЕЭК ООН №64, предписывающие с 2012 года оборудовать все новые автомобили датчиками мониторинга давления.

Так же стоит упомянуть о благоприятном воздействии на экологию от эффективной эксплуатации шин: снижается расход топлива, в результате чего происходит меньшее выделение вредных отработавших газов в атмосферу; а так же снижается выброс вредной резиновой пыли. Вся эта пыль оседает преимущественно на придорожной полосе, так согласно [53], почва придорожной полосы содержит около 2% резиновых частиц. А анализ, проведенный тем же автором, показывает, что при изнашивании шин в окружающую среду попадает большое количество канцерогенных полиароматических, прежде всего бензапирена, а также N-нитозоаминов и других вредных для организма человека веществ, добавляемых

производителями шин для улучшения эластичных и упруго-прочностных свойств резины.

С учетом изложенного, диссертационное исследование на тему «управление ресурсом шин на основе использования систем мониторинга транспортных средств» является весьма актуальным.

Целью диссертационной работы снижение эксплуатационных затрат и выбросов вредных веществ путем разработки системы управления ресурсом шин на основе использования систем мониторинга транспортных средств.

Научная новизна заключается в разработке способа для управления ресурсом шин на основе использования систем мониторинга управляемых факторов влияния на ресурс шин на межмуниципальных и межрегиональных маршрутах в условиях Сибири [57].

Практическая ценность работы заключается в создании метода учета влияния управляемых факторов на ресурс шин в условиях эксплуатации юга Сибири на примере ОАО «Автоколонна 1967». Создаваемые регрессионные модели для каждого рассматриваемого маршрута позволяют прогнозировать остаточную глубину протектора шины в зависимости от сочетания эксплуатационных факторов для каждого конкретного маршрута: давление воздуха в шине и весовая нагрузка на шину.

Разрабатываемые модели и методика позволят управлять ресурсом шин, проводить планово-предупредительные воздействия с учетом фактического состояния на основе данных мониторинга и, как следствие, снизить эксплуатационные затраты на шины и топливо, повысить безопасность движения и уменьшить негативное влияние на окружающую среду.

Задачи исследования:

провести анализ по литературным данным и комплексно рассмотреть влияние факторов на интенсивность износа шины;

провести анализ статистических данных о давлении и ходимости шин, выбрать основные эксплуатационные факторы влияния на интенсивность износа протектора;

составить многофакторные регрессионные модели зависимости глубины протектора шины от основных эксплуатационных факторов;

разработать на основе регрессионных моделей мероприятия, позволяющие уменьшить интенсивность износа протектора шин.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ научно-исследовательских работ по теме исследования

Шины являются одним из наиболее дорогостоящих элементов автомобиля, влияющим на безопасность движения, расход топлива и экологию. Научно-практическая задача повышения технического ресурса шины призвана повысить безопасность движения автомобилей, снизить расход топлива и снизить негативное влияние на экологию, так же повышение технического ресурса позволит получить положительный экономический эффект, который можно реализовать для модернизации материально-технической базы автотранспортного предприятия.

В области технической эксплуатации шин проведено множество исследований. Все эти исследования направлены для решения научно-практической задачи повышения технического ресурса шин. Разница заключается в подходах и методах решения.

А.В. Сычев, Г.В. Абакумов, М.М. Муртузов, Н.С. Захаров рассматривали в своих работах влияние фактора давления на показатели долговечности шин. Д.В. Гудков, Р.М. Устаров, Т.Н. Володина, В.И. Яковлев рассмотрели влияние условий эксплуатации на ресурс шины, а А.М. Лямзин рассмотрел влияние климатических условий. Г.В. Сидельников и Э.Ф. Касаткина рассмотрели сразу большое множество факторов и построили регрессионные модели. Совершенствованию конструкции шин посвящены работы Ш.Д. Гечекбаева, В.Н. Абрамова, В.А. Дамзена, А.А. Юсупова, Л.Д. Слюдикова и др.

Сычевым А. В. в работе [49] рассмотрены методы контроля давления в шинах, позволяющие выявлять зависимости изменения давления в шинах от эксплуатационных факторов. Автором разработана математическая модель изменения давления газа в шинах

$$\Delta p_w(t) = k_{ПМАСС} \cdot k_{СТАР} \cdot k_{РЕЖДВ} \cdot k_{ДОР} \cdot k_v^{cp} \cdot k_{РЕЖДВ} \cdot \Delta p_w^{ДИФФ} \cdot t, \quad (1.1)$$

где $k_{ПМАСС}$ – коэффициент влияния полной массы;

$k_{СТАР}$ – коэффициент, учитывающий степень старения шины;

$\Delta p_w^{ДИФФ}$ – потери давления ненагруженной шины;

k_v^{cp} – коэффициент учета средней скорости движения;

t – время эксплуатации;

$k_{ДОР}$ – коэффициент, учитывающий тип и качество дорожного покрытия;

$k_{РЕЖДВ}$ – коэффициент режима движения. Этот коэффициент учитывает отношение числа разгонов и торможений на 1 км пути.

Коэффициент режима движения определяется по формуле

$$k_{РЕЖДВ} = k_{ГОР}^l \cdot k_{ГОР} + (1 - k_{ГОР}^l) \cdot k_{ВНЕГОР}, \quad (1.2)$$

где $k_{ГОР}$ – коэффициент влияния городского цикла движения на скорость потери газа в шине автомобиля;

$k_{ВНЕГОР}$ – коэффициент влияния внегородского движения.

$k_{ГОР}^l$ – доля городского цикла движения автомобиля;

$1 - k_{ГОР}^l$ – доля внегородского цикла движения автомобиля.

Автор подробно описал три разных методики определения диффузии газа в шине без учета влияния внешних факторов. Первые два метода заключаются в наполнении шины на 90% железными шариками, а оставшиеся 10% наполнялись газом. Металл не позволяет газу проникать в свою структуру, а объем, по мнению автора, можно точно рассчитать, т.к. размер шарика известен с достаточной точностью. Это приводит к тому, что объем газа в шине уменьшится, а диффузионная площадь останется постоянно. Поэтому, даже небольшие утечки газа из шины за счет диффузии существенно снизят давления в шине, в результате чего скорость проведения эксперимента

увеличивается в 10 раз, однако шина при таком эксперименте приходит в негодность.

Второй метод отличается от первого газокомпенсационным устройством, который производит компенсацию давления газа в шине при его падении. Вторая методика моделирует работу устройства, проводящее поддержание давления в шине. Так же эти методы могут использоваться для определения коэффициента диффузии.

Третий метод состоит в том, что автомобильная шина помещается в замкнутую систему (металлическую оболочку с крышкой, исключающую проникновение дополнительного газа), далее система с шиной заполняется водой при температуре, необходимой условиям эксперимента и выводится капилляр. Суть метода состоит в том, что газ, диффундированный из шины в воду, создаст дополнительный объем и поднимет уровень жидкости в капилляре на некоторую величину. Зная диаметр капиллярной трубки, можно определить объем высвободившегося воздуха. К недостатком метода можно отнести то, что при потерях газа более 80% от нормативного уровня давления будет происходить объемное сжатие шины под действием внутренних сил натяжения и результаты могут быть искажены, но этот недостаток не столь существен, т.к. достаточным является измерения при падении давления в пределах 5-10% от нормы.

Сидельников Г. В. [44] создал методический подход к нормированию маршрутного ресурса шин городского автобуса в процессе эксплуатации.

В ходе нормирования маршрутного ресурса шин автобусов целевая функция, как считает автор, может зависеть от трех групп факторов:

Первая группа ($A_1 \dots A_n$) характеризует условия работы автобуса, которые заданы и не могут быть изменены в ходе определения нормативного ресурса шин. В первую группу входят: A_1 – удельное количество технологических остановок на маршруте, A_2 – удельное количество светофоров на маршруте, A_3 – удельное количество поворотов на маршруте, A_4 – плотность движения автотранспорта на маршруте, A_5 – среднее расстояние между остановками, A_6 –

коэффициент использования пассажироместимости, A_7 – эксплуатационная скорость, A_8 – скорость сообщения, A_9 – состояния дорожного покрытия, A_{10} – угол продольного уклона трассы маршрута, A_{11} – тип дорожного покрытия, A_{12} – интенсивность движения.

Вторая группа ($V_1 \dots V_m$), которая иногда называется элементами решения, может меняться при управлении, влияя на целевую функцию. К этим факторам относятся: V_1 – применения обоснованных нормативов систем (в случае автора – это рекомендуемое давление и схождение колес); V_2 – обеспечение выполнения рекомендаций и нормативов системы (контроль давления воздуха, схождения и т.д.); V_3 – совершенствование технологии, организации и управления процессами ТО и Р, в первую очередь эксплуатацией шин; V_4 – обеспечение рабочих мест исполнителей рациональной технологической и др. документацией; V_5 – компьютеризация и индивидуализация учета и отчетности при технической эксплуатации автобусов. V_6 – обеспечение предприятия персоналом; V_7 – повышение квалификации персонала; V_8 – совершенствование систем симулирования персонала; V_9 – обеспечение стабильности трудовых коллективов; V_{10} – создание резерва исправных автобусов; V_{11} – выбор рациональных типов моделей подвижного состава (ПС); V_{12} – выбор современных эксплуатационных материалов, включая материалы для ТО и ремонта шин; V_{13} – обеспечение качества восстановления и КР изделий, особенно элементов подвески и рулевого управления; V_{14} – управления возрастной структурой парка автобусов; V_{15} – вариационные сроки службы автобусов. Условия в ходе исследования – факторы второй группы либо имеют нормативные значения (давление в шинах), либо не изменяются.

Третья группа – заранее неизвестные условия ($C_1 \dots C_k$), влияние которых на эффективность системы неизвестно или изучено недостаточно, к ним можно отнести: C_1 – температура окружающей среды; C_2 – агрессивность окружающей среды. Поскольку прогнозировать поведение этих параметров трудно, то для их количественной оценки автором был применен экспертный метод, в частности априорное ранжирование факторов.

В итоге автором были получены регрессионные модели, одна из них (для шин 11/70R-22,5 без АБС) представлена ниже

$$P_j = 68917 + 534,8V_{Cj} + 1683,8l_{nj} - 15636,7\gamma_j + 354,9n_{Пj} - 1764\rho_j, \quad (1.3)$$

где V_{Cj} – скорость сообщения на j -ом маршруте, км/ч;

γ_j – коэффициент использования пассажироместимости на j -ом маршруте;

$l_{Пj}$ – средняя длина перегона на j -ом маршруте, км;

$n_{Пj}$ – удельное количество поворотов на j -ом маршруте, шт./км;

ρ_j – средняя плотность транспортного потока на j -ом маршруте, авт./100м.

По результатам исследования автора, доминирующее влияние на ресурс шин из фактором условий эксплуатации оказывает скорость сообщения – 12%, далее идут коэффициент использования пассажироместимости – 8%, средняя плотность транспортного потока – 4%, средняя длина перегона – 2% и удельное число поворотов – 1%. Суммарное влияние эксплуатационных факторов составило 27%, остальное влияние (73%) на ресурс шины 11/70R-22,5 городского автобуса ЛиАЗ-5256.25 без АБС оказывают конструкционные, технологические, производственные и природно-климатические факторы. Регрессионная модель автора с высокой тонностью подтвердила результаты проведенной им же экспертизы. В результате внедрения методик, предложенным автором, удалось повысить ресурс шин автобуса на 19%.

Касаткиной Э. Ф. в работе [22] разработана автоматизированная система учета и управления затратами на шины в виде программного обеспечения, внедрение которой в производство сокращает затраты на шины и повышает эффективность эксплуатации автомобилей. Автоматизированная система призвана снизить трудоемкость учета шин в обработке первичных документов (создание электронных баз, данных и работа с ними). В основе автоматизированной системы учета лежат уравнения регрессии, с помощью которых система в автоматизированном режиме выражает зависимость

интенсивности износа шин $J_{ш}$ от исследуемых параметров для передних и задних колес соответственно

$$J_{ш1} = 0,249 + 0,034C + 0,0119P_{w1} + 0,0085L_P + 0,02294\Pi + 0,0102Y + 0,0153K; \quad (1.4)$$

$$J_{ш2} = 0,182 + 0,008P_{w2} + 0,0064L_{\Pi} + 0,0136\Pi + 0,0082Y + 0,0088K; \quad (1.5)$$

где C – схождение колес;

P_{w1} и P_{w2} – давление воздуха в шинах передних и задних колес;

L_P, L_{Π} – люфты в рулевом управлении и в подшипниках ступиц колес;

Π – перекося мостов;

Y – условия эксплуатации;

K – климатические условия.

Данные уравнения обеспечивают оптимизацию поиска неисправностей при появлении повышенного износа шин. После внедрения данной системы автором на владимирском ПАТП-1, затраты на шины снизились на 7% и на 50% сократились управленческие расходы по учету шин.

Гудковым Д. В. в работе [13] выявлены основные факторы, влияющие на интенсивность изнашивания шин, и проведена их градация применительно к регулярным автобусным маршрутам. Самым влияющим фактором на пробег шин, по мнению автора – полная масса автобуса с учетом коэффициента использования пассажироместности, на основе этого мнения автором разработан оценочный показатель загруженности шин. В качестве показателя принята суммарная работа сил, действующих в пятне контакта автомобильной шины с опорной поверхностью.

$$A_{y\partial} = \left(\sum A_{p_x} + \sum A_{p_y} \right) / L_m, \quad (1.6)$$

где $\sum A_{p_x}$ и $\sum A_{p_y}$ – соответственно суммарная работа как продольных тяговых и тормозных сил, так и боковых сил, действующих в пятне контакта автомобильной шины с дорогой, Дж;

L_m – длина маршрута.

Автором получена линейная зависимость для определения ресурса шин

$$L_n = 163,8 - 0,026 \cdot A_{y\partial}, \quad (1.7)$$

Устаров Р. М. в работе [56] определил ряд эксплуатационных факторов влияния на интенсивность изнашивания и ресурс шин в условиях переменного рельефа местности. Автором разработана модель горных дорожных условий взаимодействия системы «горная дорога-автомобиль-водитель-окружающая среда», в модели были рассмотрены следующие факторы: техника вождения или крутящий момент; дорожные, климатические условия и конструкция автомобиля; весовая перегрузка шин; скорость движения автомобиля; давление воздуха в шинах; углы установки колес и силы, действующие на шину; несоответствие конструкции и неоднородность колес; перекосы передней и задней осей автомобиля и техническое состояние подвески; влияние износа шин на их характеристики и тягово-сцепные свойства автомобиля. Для выявления степени влияния этих факторов, автором проводились стендовые испытания. В результате была получена линейная зависимость, позволяющая рассчитать пробег автобусных шин в зависимости от удельной работы сил сопротивления движению в условиях переменного рельефа местности

$$y = 165,686 - 0,02107 \cdot A_{y\partial}, \quad (1.8)$$

где $A_{y\partial}$ – суммарная работа сил, действующих в пятне контакта шины с дорогой, определяется по формуле 1.6.

Так же вторым был выведен коэффициент, учитывающий рельеф местности для прогнозирования пробега шин. Так по многообразию дорожных условий эксплуатации автомобилей можно разбить характерные участки, где параметры нагружения шин и эксплуатационные факторы будут квазистационарны. По удельному весу этих участков можно определить среднюю интенсивность износа в конкретном участки рельефа местности. При этом, средняя интенсивность износа протектора шин найдется в виде

$$J_{CP} = J_{PP} \cdot \Delta l_{PP} + J_i \cdot \Delta l_i + J_j \cdot \Delta l_j + J_{PP} \cdot \Delta l_{PP}, \quad (1.9)$$

где J_{PP} , J_i , J_j , J_{PP} – интенсивность износа шин на криволинейном участке, подъемах (уклонах), при движении автомобиля с ускорениями (замедлениями) и на прямолинейных участках, соответственно мг/км;

Δl_{PP} , Δl_i , Δl_j , Δl_{PP} – удельный вес (работа) характерных участков.

Автором было предложено понятие «средневзвешенный коэффициент рельефности», определяемый как

$$\overline{K} = \frac{\sum K_i \cdot L_i}{\sum L_i}, \quad (1.10)$$

где K_i – частные коэффициенты для соответствующих рельефов местности;
 L_i – длины путей для данного маршрута, проходимые на соответствующих рельефах.

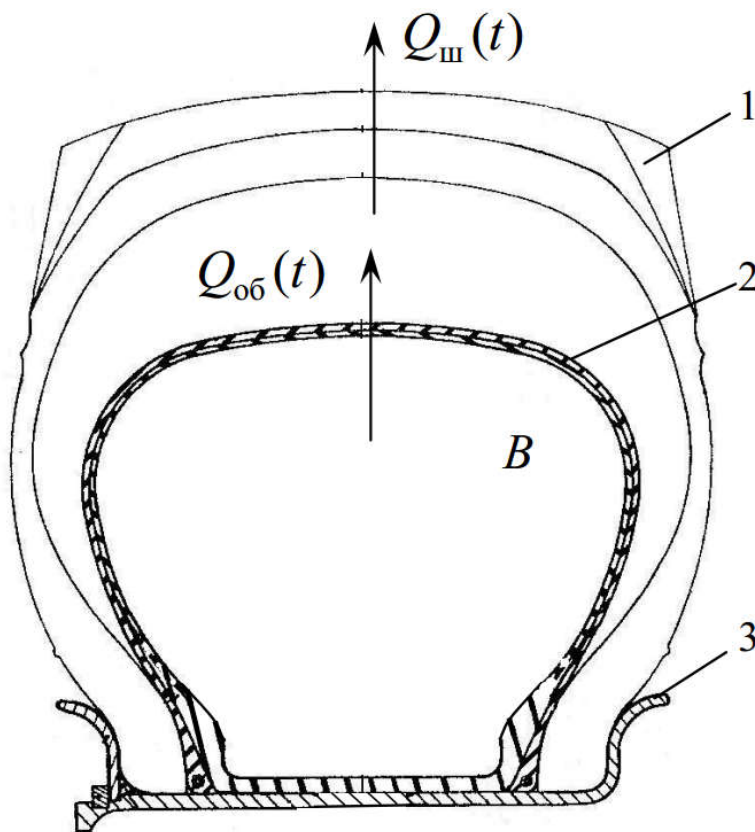
По мнению автора, эту методику целесообразно применять для новых маршрутов, а величину средневзвешенного коэффициента рельефности целесообразно вносить в паспорт маршрута и в дальнейшем использовать при расчете пробега шин.

Лямзиным А. М. в работе [31] подошел к изучению вопроса влияния классификации и уровней приспособленности шин (категория использования,

ошипованность) к низкотемпературным условиям эксплуатации. Согласно исследованиям, приспособленность шины к низкотемпературным условиям и сами низкотемпературные условия существенно влияют на коэффициент сопротивления качению, что в свою очередь имеют влияние на расход топлива. Автор вывел коэффициент приспособленности, который характеризуется коэффициентом сопротивления качению и, в зависимости от него, выделено три уровня приспособленности: высокий, средний и низкий. Основная идея исследования состоит в том, что влияние суровых условий на автомобильные шины зависят от уровня их приспособленности к этим условиям. Экспериментальные исследования автора показали, что автомобильные шины с различными эксплуатационными и конструктивными характеристиками имеют различную степень изменения коэффициента сопротивления качению в условиях низких температур эксплуатации, а, следовательно, имеют различные значения параметра приспособленности. В результате было определено, что информативными признаками для классификации будут являться: категория использования и наличие или отсутствие шипов. На основе этого автором была предложена методика дифференциального корректирования норм расхода топлива с учетом приспособленности шин к низкотемпературным условиям эксплуатации по коэффициенту сопротивления качению. Величина коэффициента зависит от значения фактической температуры воздуха, при которой происходит эксплуатация автомобиля, и от уровня приспособленности шин к отрицательным температурам окружающего воздуха по коэффициенту сопротивления качению.

Гечекбаев Ш. Д. в [10] решил задачу прогнозирования давления в шинах автотранспортных средств и повышения его стабильности за счет использования внутреннего газопроницаемого пневматического аккумулятора (ВГПА) (рисунок 1.1). Разработанная математическая модель процесса диффузии газа из шины, содержащей ВГПА, и метода выбора его рациональных параметров, обеспечивающих максимальное увеличение периода восстановления давления в шине при соблюдении норм давления. ВГПА,

согласно исследованию автора, дал увеличения периода восстановления давления в шине в среднем от 7 до 120 дней, т.е. в 17 раз больше, чем в обычной шине.



1 – наружная пневматическая шина; 2 – внутренний пневматический аккумулятор; 3 – обод;
A – основная камера; *B* – вспомогательная камера (внутренний пневматический
 газопроницаемый аккумулятор)

Рисунок 1.1 – Расчетная схема шины с внутренним пневматическим аккумулятором (ВПА)

Муртузовым М. М. [33] рассмотрена проблема увеличения интервалов восстановления нормативного давления на основе математического моделирования изменения давления воздуха и концентрации кислорода в шине вследствие газопроницаемости ее материалов. Автор, с помощью разработанных математических моделей изменения давления и концентрации кислорода в шине вследствие газопроницаемости ее материалов установил: закономерности изменения давления в шине с течением времени с учетом

заправки воздухом, чистым азотом и техническим азотом; закономерность, позволяющую определить интервал до первого восстановления нормативного давления в шине; зависимости изменения концентрации кислорода в шине от времени.

Автором получена математическая модель изменения давления в шине в процессе проницаемости из нее смеси газов

$$p_{ш}(t) = p_{ш0} e^{-\frac{\beta_{ш}(t)ST}{\delta V}t} = p_{ш0} \sum_{i=0}^k \eta_{i0} e^{-\frac{\beta_i(t)ST}{\delta V}t}, \quad (1.11)$$

где $p_{ш0}$ – начальное давление смеси газа в шине;

$\beta_{ш}(t)$ и $\beta_i(t)$; – показатель проницаемости смеси газов в шине и показатель проницаемости i -го газа в шине соответственно;

S – площадь шины;

T – абсолютная температура;

δ – толщина герметизирующего слоя;

V – объем шины;

t – время, за которое происходит изменения давления;

η_{i0} – доля газа, находящегося в общем объеме смеси.

Эта модель описывает процесс проницаемости воздуха из шины при условии, что она не нагружена вертикальной нагрузкой, то есть объем шины не меняется с течением времени, и давление в шине зависит только от утечки газа.

В процессе работы автором установлено, что при заправке шины воздухом, концентрация кислорода в ней с течением времени уменьшается по экспоненциальной кривой (полностью шина освобождается от кислорода за 70...350 суток), а период между восстановлениями увеличивается. А заправка шин азотом, а в последующем воздухом позволяет увеличить период восстановления давления и снизить на 25% затраты на обслуживание шин.

Яковлев В. И. в своей работе [63] впервые с позиции механики теоретически исследовал качения твердого колеса по твердому основанию.

Получил простое инженерное решение о качении упругого колеса по жесткому основанию, приоритетом которого являются конечные аналитические выражения для определения основных параметров контрактного взаимодействия пары качения, в частности работы сил трения, коэффициентов жесткости, величины наружного диаметра колеса. В итоге автором определено, что для повышения ресурса шины необходимо увеличивать коэффициент Пуассона и модуль сдвига материала протектора, радиус шины, коэффициент заполнения профиля и коэффициент тангенсальной жесткости, снижать величины относительного упругого скольжения, нагрузку и коэффициенты трения скольжения и нормальной жесткости шины. Таким образом дано объяснение механизму износа шин, показаны особенности их износа и выхода из строя. Получено аналитическое выражение для расчета и прогнозирования линейного износа шин

$$h = \frac{\xi \lambda^2 f^2 P^{4/3} C_2^{2/3} L}{16,5 C_1 R^{5/3}}, \quad (1.12)$$

где ξ – коэффициент пропорциональности;
 λ – некоторая величина меньше единицы;
 f – коэффициент трения скольжения;
 $P^{4/3}$ – погонная осевая нагрузка на шину;
 $C_2^{2/3}$ – нормальная погонная нагрузка;
 C_1 – коэффициент жесткости шины;
 $R^{5/3}$ – радиус шины.

К недостатку этого выражения можно отнести то, что оно не учитывает величину давления воздуха в шине.

Абакумовым Г. В. [1] решена научно-практическая проблема снижения себестоимости автомобильных перевозок за счет повышения долговечности

шин и уменьшения расхода топлива путем обеспечения эксплуатации шин с давлением, соответствующим нормативу.

Автором разработана математическая модель и методика расчета величины давления для контроля и доведения его до нормы зимой в отапливаемом помещении

$$p = \begin{cases} (p_n + p_{атм}) \cdot \left(1 + \frac{n}{\tau_n} \cdot (T - 1) \cdot \tau\right) - p_{атм}, & \tau \leq \tau_n \\ (p_n + p_{атм}) \cdot (T - (1 - n) \cdot (T - 1) \cdot e^{m \cdot (\tau - \tau_n)}) - p_{атм}, & \tau > \tau_n \end{cases} \quad (1.13)$$

где p_n – норма давления в шинах;

τ_n – температура прогрева;

$p_{атм}$ – атмосферное давление;

m – температура охлаждения;

T определяется по формуле

$$T = \frac{273 + t_n}{273 + t_y}, \quad (1.14)$$

где t_n – температура воздуха в помещении;

t_y – температура воздуха на улице;

n – отношение приращения давления при прогреве в результате реализации нерегулярного процесса к общему увеличению давления за весь процесс прогрева, определяется по формуле

$$n = \frac{P_{\tau_n} - P_n}{P_n - P_n}. \quad (1.15)$$

Данная модель и методика контроля доведения до нормы давления воздуха в шинах при техническом обслуживании в зимний период, дает экономический эффект за счет частичного снижения потерь ресурса шин и перерасхода топлива, связанных с отклонением давления от нормы. Экологически эффект состоит в сокращении массы продуктов износа шин и выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Абрамов В. Н. в своей работе [2] разработал концепцию решения проблемы повышения работоспособности и надежности эксплуатации автомобильного транспорта за счет обеспечения сохраняемости и долговечности шин и РТИ на основе совершенствования методологии их оценок и расчетов, конструктивных доработок и технологии производства, разработок новых перспективных материалов, способов модификации резин и их защиты. В результате были научно обоснованы уровни ключевых показателей тактико-технических характеристик (ТТХ) шин и автомобилей, критерии работоспособности шин и РТИ, разработаны и экспериментально проведены оценки:

- показателей опорной проходимости полноприводных автомобилей по удельной нагруженности шин по объему, их жесткостным и конструктивным параметрам, уточненной математической модели качения колеса через накопленный сдвиг ее элементов в контакте с грунтом, пробуксовку;
- сохраняемости РТИ по базовым критериям их работоспособности и прогнозированию их сроков службы;
- напряженно-деформированного состояния гофрированных РТИ;
- модификация резин, повышающей до 40% срок службы РТИ, с применением комбинированного способа объемного упрочнения фтордобавками по параметру их растворимости и набухиванию на основе фторпарафинов, эфиров и спиртов-теломеров и поверхностного насыщения фтором с использованием фторгелиевого реагента и химического поглотителя, снижающего скорость миграции ингредиентов и формирующего более плотный и стойкий к озону поверхностный слой.

Теоретические и экспериментальные исследования и расчеты авторы сделали возможным повышение эффективности эксплуатации автомобилей с шинами и РТИ разных сроков службы, выражающимся в наиболее полной реализации их эксплуатационных качеств на автомобильный транспорта, это позволило: улучшить показатели ключевые показатели полноприводных автомобилей, занизить энергозатраты на качение, повысить в 1,7-2,1 раза ходимость шин.

Дамзен В. А. в работе [14] подошел к проблеме повышения безопасности и ресурса шин через рассмотрение динамических характеристик шины (динамической жесткости и коэффициента затухания колебаний), специально для этого автором был разработан метод диагностирования шин по параметрам упругих свойств на основе математической модели определения жесткости автомобильных шин

$$C = 2 \cdot m \cdot g \cdot e^{(2 \cdot n_2 - n_1) \cdot t} \cdot \frac{A_1}{A_2^2}, \quad (1.16)$$

где m – масса колеса, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

n_2 – коэффициент затухания колебаний (падения), 1/с;

n_1 – коэффициент затухания колебаний (прогиба), 1/с;

t – продолжительность колебаний, с;

A_1 – начальная амплитуда колебаний (падения), м;

A_2 – начальная амплитуда колебания (прогиба), м.

Математическая модель и методы, разработанные автором, помогли решить важную научно-практическую задачу повышения безопасности и ресурса автомобильных шин за счет их диагностирования при техническом обслуживании автомобиля.

Володина Т.Н. в работе [9] рассмотрела характеристики пневматических шин с позиции необходимости прогнозирования их износостойкости. Автором

получены закономерности, связывающие деформации колеса и протектора с касательными смещениями в зоне контакта шины с дорогой при свободном качении шины и при восприятии окружных и боковых сил, которые позволяют установить зависимости между конструктивными параметрами шины, свойствами конструкционных материалов и удельной работой трения в контакте, характеризующей износостойкость протектора. Автором проведен анализ распределения напряжений в контакте при свободном качении, который позволяет установить опасные зоны с точки зрения износа протектора.

Автором разработаны математические модели, позволяющие оценить суммарную работу трения при действии заданных внешних сил, которая определяется суммированием составляющих

$$A = A_{\phi} + A_{\mu}, \quad (1.17)$$

где A_{ϕ} – величина средней удельной работы трения в контакте при действии боковой силы, определяется по формуле

$$A_{\phi} = \frac{P_y^2}{K_y B \Psi_{нас}}, \quad (1.18)$$

где P_y – боковая сила;

K_y – коэффициент сопротивления боковому уводу;

B – ширина зоны контакта;

$\Psi_{нас}$ – коэффициент насыщенности рисунка протектора;

A_{μ} – удельная работа трения при действии окружной силы (момента), определяется по формуле

$$A_{\mu} = \frac{P_t^2 \lambda}{\Psi_{нас} B R_0}, \quad (1.19)$$

где λ – коэффициент окружной эластичности шины;

R_0 – расстояние от наружного слоя брекера до оси вращения.

Приведенные выше характеристики позволяют оценивать среднюю износостойкость сравниваемых вариантов шин при условии, что износостойкость резин не меняется, а выигрыш в износостойкости протектора предполагается за счет повышения модуля протекторной резины и конструктивных изменений шины.

Юсупов А.А. в работе [62] разработал комплексный подход к созданию безопасной шины, способной работать при нормальном атмосферном давлении в ее полости, сохраняя при этом профиль и габаритные размеры пневматической шины. Возможность работать без избыточного внутреннего давления шина получила в результате замены нитей каркаса на упругие, определенным образом устанавливающие пружинные элементы, воспринимающие радиальную нагрузку на шину. Автором воссозданы опытные образцы безопасных шин, определены их основные характеристики, выполнено их сравнение с пневматическими шинами. Установлено, что жесткостные характеристики экспериментальных образцов безопасных шин близки к соответствующим характеристикам пневматических шин. Так же автором проведены сравнительные испытания на работоспособность шин в условиях нулевого давления, которые показали, что работоспособность предложенных экспериментальных образцов с упругими элементами выше, чем у известных конструкций безопасных пневматических шин с различными системами безопасности.

Слюдилов Л.Д. разработал [46] теоретическое обоснование и создал комплекс средств для повышения ресурса при проектировании новых и модернизации существующих моделей автомобильных шин, согласующихся с техническими требованиями, особенностями технологии производства и условиями их эксплуатации; разработал и внедрил в производство эффективные сбалансированные решения, обеспечивающие повышение ресурса шин. На основе систематического исследований влияния параметров

протектора на долговечность, автором сформулированы представления об оптимальном сочетании свойств резины и конструкции протектора, обеспечивающий максимально возможный ресурс шины.

Анализ долговечности шин, проведенный автором, при помощи расчетной модели показывает, что совершенствование шины должно проводиться с учетом условий эксплуатации. Так, для хороших дорог I и II категории более эффективно повышать износостойкость протектора, для дорог III – V категорий – сопротивление механическим повреждениям, для плохих дорог – сопротивление усталостным разрушениям и механическим повреждениям.

Захаров Н.С в работе [17] рассмотрел влияние сезонных условий на процессы изменений качества автомобилей. Данная работа содержит в себе несколько направлений, но наиболее интересны два направления: влияние сезонных условий на процесс формирования реализуемого ресурса шин и влияние сезонных условий на процесс формирования реализуемого давления в шинах.

В первом направлении автор делит реализуемое качество шин на непрерывные и дискретные процессы. К непрерывным процессам относится, прежде всего, изнашивание. Кроме того, непрерывно происходит диффузионная утечка воздуха из шины. К дискретным относятся разрушения каркаса по разным причинам, отслоение протектора, проколы и так далее. Интенсивность непрерывного процесса характеризуется интенсивностью изнашивания u , а дискретного – параметром потока отказов ω . В рамках данного направления автором были разработаны многофакторные математические модели влияния условий эксплуатации на среднюю интенсивность изнашивания шин автобусов, а так же математические модели зависимости параметра потока отказов от температуры окружающего воздуха и влияние на параметр потока отказов вертикальной нагрузки.

Во втором направлении автор ставит цель – снижение себестоимости автомобильных перевозок за счет повышения долговечности шин и

уменьшения расхода топлива путем обеспечения эксплуатации шин с давлением, соответствующим нормативу. В настоящее время не во всех шинах давление соответствует нормативному уровню. Фактическое давление случайная величина с определенным математическим p ожиданием и коэффициентом вариации V_p , распределенная по закону, описываемому функцией распределения.

$$p = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cdot X_i; \quad (1.20)$$

$$V_p = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i \cdot X_i, \quad (1.21)$$

где n – число факторов;

A_0, B_0 – свободные члены;

A_i, B_i – коэффициенты уравнений регрессии при i -м факторе;

X_i – факторы, влияющие на параметры распределения давления в шине, к которым относятся: среднесписочное количество автомобилей в АТП, ед; средневзвешенное давление, МПа; объем шины, м^3 ; средняя классность водителей; температура воздуха в момент измерения давления, $^{\circ}\text{C}$; частота проверки давления на КТП, ед/100 автомобиле-дней работы на линии; число воздухораздаточных колонок, ед/100 автомобилей.

Как отмечает автор, из-за эксплуатации шин с давлением не соответствующим норме, ресурс шин реализуется не полностью, то есть существуют потери. Кроме того, по этой же причине увеличивается реализуемый удельный путевой расход топлива автомобилем, то есть существуют значительные финансовые потери.

1.2 Выявление и классификация основных групп факторов, влияющих на срок службы и интенсивность износа шины

Срок службы шины в процессе эксплуатации зависит от интенсивности износа шины, которая, в свою очередь, является непрерывной величиной. Соответственно всегда имеет место быть определенный набор факторов, влияющих на интенсивность износа шины. Факторы могут варьироваться по степени их влияния, а некоторые факторы могут просто не существовать в некоторых условиях эксплуатации и поэтому оказывать нулевую степень влияния на процесс износа шин.

Янчевским В.А. [64, 65] основные факторы разделены на три группы по степени управления (Рисунок 1.1):

управляемые факторы – это факторы, зависящие от работы технической службы предприятия. К ним относятся организационно-технические факторы, техническое состояние автомобиля;

частично управляемые факторы – квалификация водителя, эксплуатационные факторы;

неуправляемые факторы – факторы, не зависящие от работы технической службы. К ним относятся дорожно-климатические условия, конструкция автомобиля, качество шин.

Алаэдин А.М. [4] на основе экспертной оценки ученых специалистов в области технической эксплуатации автомобильных шин провел ранжирование факторов и установил их в порядке по степени влияния (Рисунок 1.2), где эксплуатационные условия, техническое состояние автомобиля и организационно-технические факторы имеют наибольшую степень влияния на ресурс шин. Эту же классификацию использует в своем исследовании Касаткина Э.Ф. [22].

Устаров. Р.М. на основе исследований Тарновского В.Н., Третьякова, О.Б. и Кузьмина Н.А. [56] выделяет следующие факторы, влияющие на срок службы шин: техника вождения автомобиля и крутящий момент; дорожные,

климатические условия и конструкция автомобиля; весовая перегрузка шин; скорость движения автомобиля; давление воздуха в шинах; углы установки колес и силы, действующие на шину; несоответствие конструкции и неоднородность колес; перекосы осей и техническое состояние подвески.

Влияние факторов определяется рядом параметров (рисунок 1.2). Отклонение каждого из параметров от оптимального состояния увеличивает интенсивность износа шин. Влияние первой группы факторов может быть полностью устранено совершенствованием работы технической службы предприятия. Влияние второй группы факторов может быть полностью или частично устранен, но не всегда это возможно, влияние третьей группы факторов не может быть устранено, но должно учитываться при установлении или корректировке норм пробега шин.

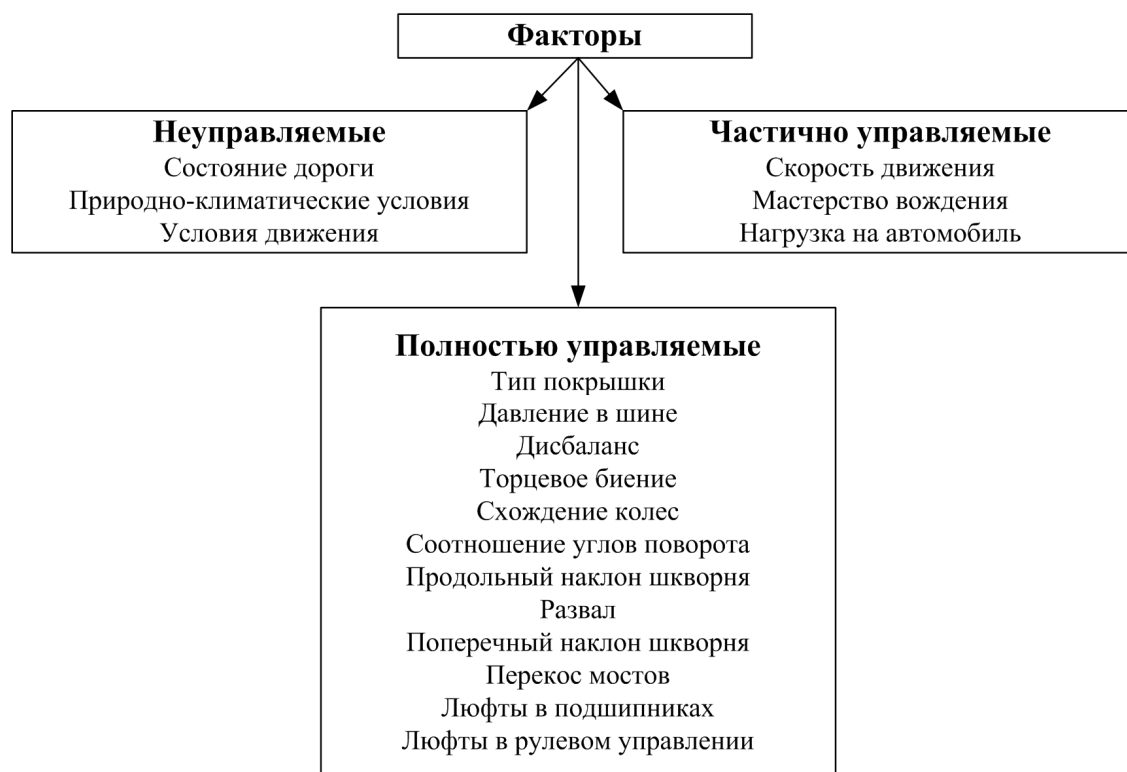


Рисунок 1.1 – Группирование факторов, выполненное Янчевским В.А.

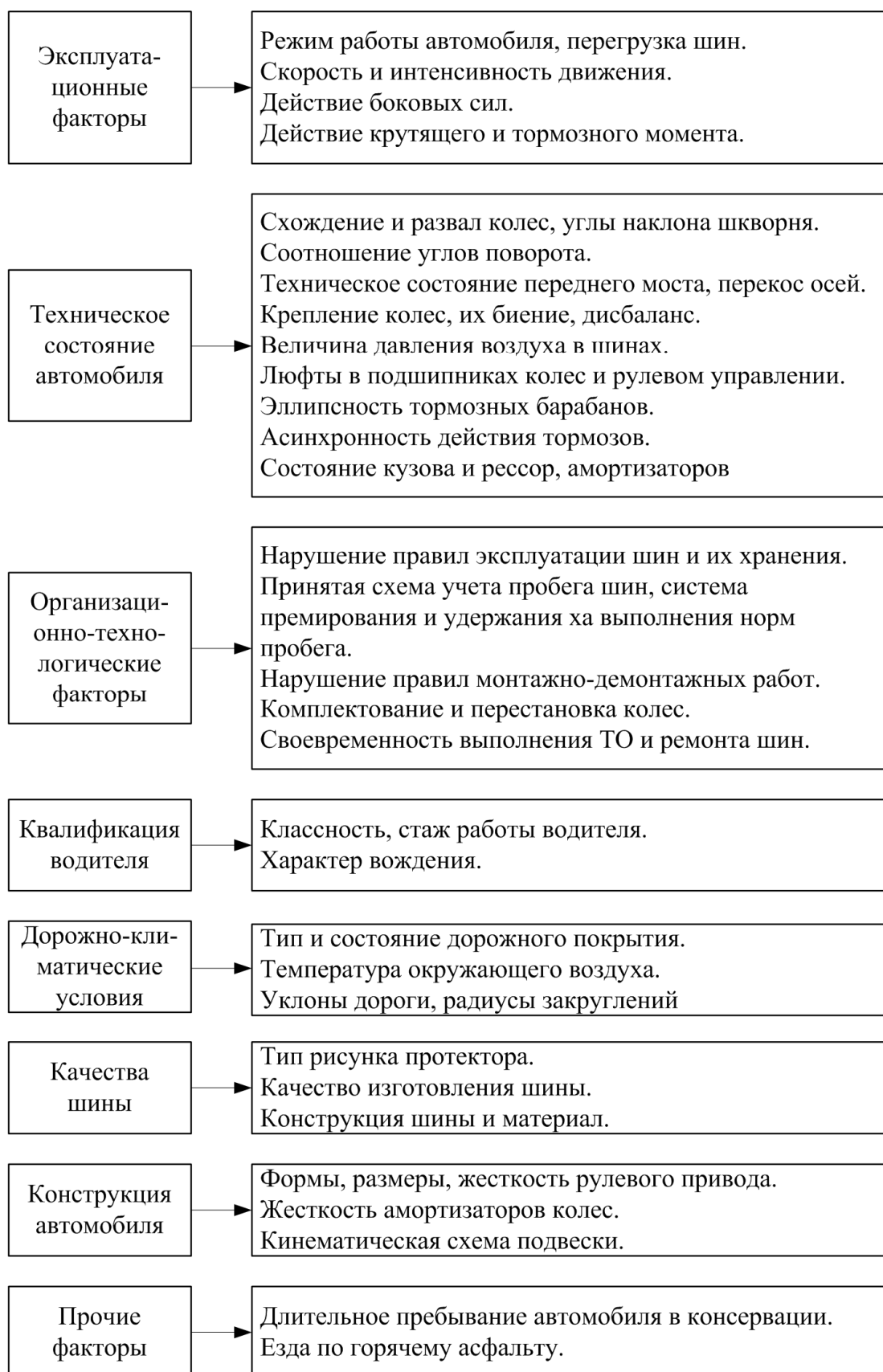


Рисунок 1.2 – Классификация основных факторов, влияющих на ресурс шин

Сидельников Г.В. в работе [44] рассматривает следующие факторы, влияющие на ресурс шин автомобилей и автобусов: конструкция шины; радиальное и осевое биение, дисбаланс колеса; возраст шины; состояние дорог; неаккуратное вождение; давление воздуха в шине; скорость движения; весовая нагрузка на шину; величина крутящего момента, приложенная к шине; угол схождения и развала; угол продольного наклона шкворня; соотношение углов поворота; перекос заднего и переднего моста; температура окружающего воздуха.

1.2.1 Давление воздуха в шине

Давление воздуха в шине оказывает большое влияние на срок службы шины. Поэтому для каждой марки шины производитель устанавливает определенную норму давления, при которой шина будет иметь наибольший ресурс. При увеличении или уменьшении давления их срок службы значительно снижается (рисунок 1.3) [19].

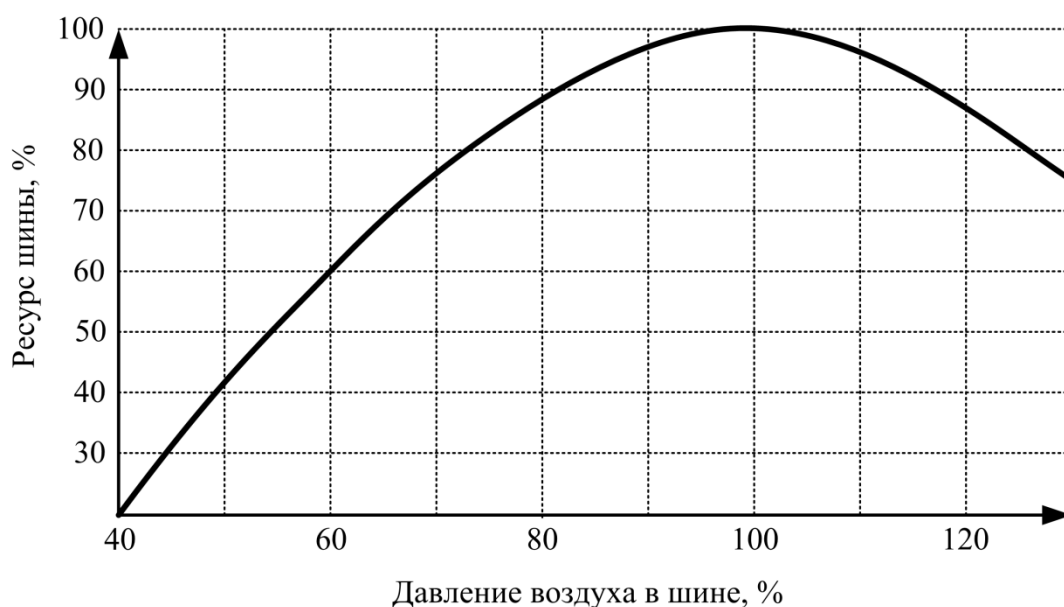
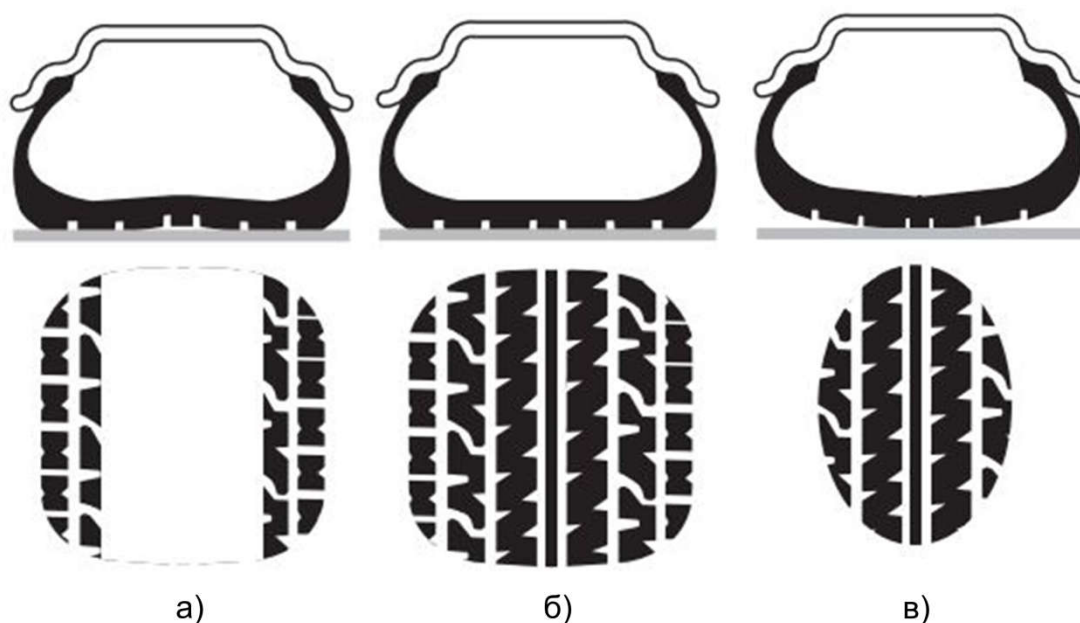


Рисунок 1.3 – Влияние давления в шине на ее ресурс [19]

Такое влияние внутреннего давления в шине на ее ресурс объясняется достаточно просто: пониженное давление ведет к большей деформации самой шины, что повышает ее температуру и вызывает рост интенсивности износа в зоне контакта шины с дорогой. При недостаточном давлении шина имеет значительно меньшую площадь зоны контакта протектора с дорогой: протектор изгибается и его середина теряет контакт с дорогой, тогда как вся весовая нагрузка, приходящаяся на шины, ложится на плечевую зону протектора, что приводит к их интенсивному износу (Рисунок 1.4, а). Так же повышенная деформация повышает вероятность усталостных разрушений. При нормальном давлении шина имеет полный контакт шины с дорогой по всей ширине протектора, что позволяет равномерно распределить весовую нагрузку на шину и обеспечить равномерный износ (Рисунок 1.4, б). При повышенном давлении происходит обратная ситуация: протектор изгибается, но уже в другую сторону. Вся нагрузка ложится на середину протектора, соответственно при повышенном давлении происходит интенсивный износ средней его части (Рисунок 1.4, в).



а – Давление ниже нормы, б – нормативное давление, в – давление выше нормы

Рисунок 2 – Влияние давления на деформацию шины [24]

Как уже было сказано ранее, повышенное или пониженное давление значительно уменьшают площадь контакта шины с дорогой, что негативно сказывается на безопасности движения. Так при пониженном давлении увеличивается тормозной путь, снижается курсовая устойчивость, ухудшается управляемость. При повышенном давлении ситуация аналогична, за исключением лучшей курсовой устойчивости.

Но внутреннее давление влияет не только на ресурс шины или безопасность движения, оно так же влияет на расход топлива. Объясняется это тем, что при пониженном давлении происходит деформация шины, что повышает сопротивление качению. При повышенном давлении наоборот – расход топлива снижается за счет повышения жесткости шины и, как следствие, снижения сопротивления качению.

Захаров Н.С на основе анализа ранее выполненных исследований определил [17] основные причины изменения давления воздуха в шине в процессе эксплуатации автомобильного транспорта (Рисунок 1.5).

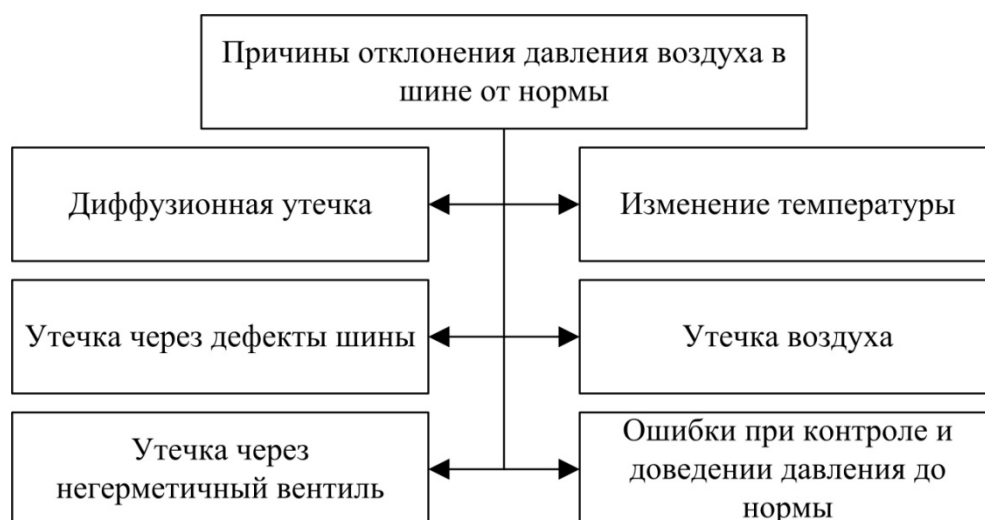


Рисунок 1.5 – Причины отклонения давления воздуха в шине при эксплуатации автомобиля

Степень влияния каждой причины, представленной на рисунке 1.5, определяется рядом факторов.

Изменение температуры влияет от следующих факторов:

температура условий эксплуатации (изменение климатических условий, сезона года, переезд в районы с более холодным или теплым климатом);

изменение температуры при заезде в производственное помещение (участок ТО или ТР, шиномонтажный участок), стоит отметить, что изменение температуры происходит постепенно;

гистерезисные потери при движении (Энергия, поглощаемая шиной, приводит к значительному повышению ее температуры. При этом уменьшается межмолекулярное трение в ней, а следовательно, и величина гистерезисных потерь, что является положительным явлением. Гистерезисные же потери в корде несколько возрастают [17].)

Диффузионная утечка воздуха зависит от следующих факторов:

тип шины (камерная или бескамерная) – камерная шина имеет более низкую в сравнении с камерными интенсивность диффузионной утечки;

газопроницаемость состава резины;

размер шины – чем больше шина, тем большая площадь поверхности, через которую происходит диффузионная утечка;

давление в шине – чем выше давление, тем выше перепад между давлением внешней среды и внутри шины, а следовательно, выше интенсивность диффузионной утечки;

температура шины – чем выше температура, тем больше интенсивность диффузионной утечки.

Утечка воздуха через дефекты шины зависит от следующих факторов:

состояние шины и камеры (при наличии);

типа и состояние диска.

Утечка воздуха через негерметичный вентиль:

состояние вентиля;

температура окружающей среды – при низких температурах уплотнительная прокладка клапана становится жесткой, и герметичность вентиля ухудшается.

Ошибки при контроле и доведении давления до нормы:

погрешность манометра;

ошибки исполнителя.

1.2.2 Нагрузка на шину

На увеличение интенсивности износа и сокращения срока службы шин влияет перегрузка шин. Недогрузка ведет к увеличению срока службы, а перегрузка, наоборот – к его уменьшению. Так перегрузка шин на 10% приводит к сокращению срока службы на 20% [50]. При этом, влияние на прочность каркаса будет аналогичной, как при повышенном давлении, а степень деформации шины и характер разрушения боковин будет аналогичным, наблюдаемым при эксплуатации шины с недостаточным давлением, только в значительно больше степени, вследствие больших удельных давлений [51]. Это объясняется увеличением напряжения нитей корда, большим нагревом вследствие деформации (особенно в плечевой зоне покрышки), а так же повышением и неравномерным распределением удельного давления на площади контакта шины с дорогой. Перегрузка шины не может быть устранена путем увеличения давления, ведь в таком случае возрастет напряжение во всех ее элементах, особенно при эксплуатации на плохой дороге, что приведет к значительному сроку службы шины.

На перегрузку шин влияет общая перегрузка автомобиля, неравномерное распределение груза или пассажиров по его платформе, а так же недостаточное давление в одном из сдвоенных колес.

Устаровым Р.М. на основе стендовых испытаний определено, что весовая нагрузка существенно влияет на интенсивность износа шины. Кроме того, повышение нагрузки на шину приводит к увеличению мощности, подводимой к ведущим колесам, что в конечном итоге отражается на средних значениях действующих реакций в пятне контакта автомобильной шины с дорогой [56].

Влияние весовой нагрузки на ресурс шин в условиях эксплуатации показан на рисунке 1.6. [26]

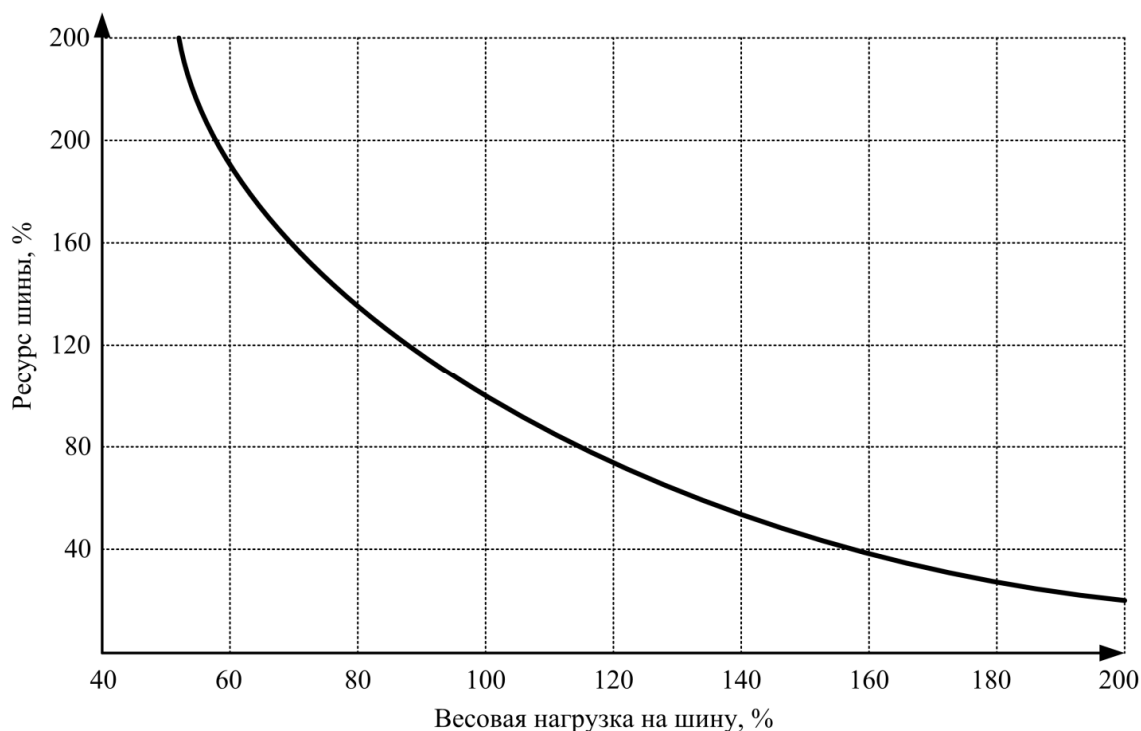


Рисунок 1.6 – Влияние весовой нагрузки на ресурс шины в условиях эксплуатации

1.2.3 Скорость движения

Срок службы шины существенно зависит от скорости движения колеса. Резкое уменьшение срока службы наблюдается на скоростях, превышающих предельные скорости, установленные производителем шин. Происходит это в результате гистерезисных потерь, обусловленных наличием числа циклов нагружений элементов шины за единицу времени. В следствие чего происходит повышение рабочей температуры и связанного с этим уменьшения прочностных характеристик ее материалов, повышения динамических нагрузок при встрече шины с препятствием, которые приводят к разрушению каркаса и колебанию элементов профиля шины при их выходе из контакта [26].

Так же стоит упомянуть, что износ шин по мере роста скорости на ведущих и ведомых колесах не одинаков. При прямолинейном движении по мере увеличения скорости движения износ шин ведущих колес становится

существенно выше износа ведомых колес, что является следствием увеличения тяговой силы на ведущих колесах [25].

1.2.4 Техническое состояние

Техническое состояние часто является причиной преждевременного износа шин. Техническое состояние выражается в неправильных углах установки управляемых колес и перекосе осей.

Неправильное схождение и развал колес вызывает усиленный износ шины из-за дополнительного проскальзывания элементов протектора передних колес в месте контакта ее с дорогой. При избыточном положительном схождении на обеих передних шинах возникает односторонний пилообразный износ по наружным дорожкам протектора. При недостаточном схождении или расхождении колес односторонний пилообразный износ возникает по внутренним дорожкам. При этом на 0,5-1,5% возрастает расход топлива [52].

Развал оказывает заметное влияние на темп износа при значительных отклонениях от нормы. На шине возникает гладкий односторонний износ без явных признаков пилообразности. Неправильный развал вызывает заметный износ плечевой зоны шины по всей окружности, причем износ внутренней плечевой зоны указывает на отрицательный развал [56].

Неправильное схождение передних колес приводит к повышенному боковому скольжению, которое вызывает быстрое истирание грунтозацепов.

Соотношение углов поворотов влияет на износ передних шин в тех случаях, когда автомобиль много движется по закруглениям, например в условиях большого города или на горных дорогах. Характерным признаком отклонений по этому параметру является износ одной самой крайней дорожки, что особенно заметно у шин с дорожным рисунком протектора [52].

Перекос осей может быть вызван деформацией кузова и осей, износом, ослаблением крепления, деформацией направляющего аппарата подвески и поломкой центровых болтов [28]. Перекос осей приводит к тому, что

автомобиль располагается под углом к траектории движения. На задних шинах возникает односторонний пилообразный износ – по внутренним дорожкам протектора шин одной стороны автомобиля, и по наружным – с другой [52].

1.2.5 Неоднородность колес и дисбаланс

Другие причины повышенного износа в зависимости от технического состояния могут быть обусловлены силовой неоднородностью распределения масс. Причинами неоднородности являются несимметричные элементы конструкции, технологические допуски, неточности изготовления и монтажа деталей. Неоднородность подразделяют на геометрическую, неоднородность жесткостных характеристик и неоднородность распределения масс [56].

Неоднородность геометрическая характеризуется биением или изменением за оборот колеса расстояния между зафиксированной относительно оси вращения точкой и принадлежащей ободу колеса (шине) поверхностью. Различают радиальное и боковое биение, возникающее в направлениях, соответственно перпендикулярном и параллельном оси вращения колеса. Местный износ шины может быть вызван ее неоднородностью, а так же биением тормозного барабана.

Силовая неоднородность снижает долговечность шин. Например, местный износ беговой дорожки может быть вызван неоднородностью шины, а так же биением тормозного барабана

Неоднородность распределения масс колеса оценивают его неуравновешенностью, количественной характеристикой которого является дисбаланс – векторная величина, равная произведению неуравновешенной массы на ее эксцентриситет.

Дисбаланс бывает статическим и динамическим. Статический дисбаланс – это сумма всех векторов дисбалансов колеса, расположенных в плоскостях, перпендикулярных оси колеса. Физический смысл статического дисбаланса заключается в том, что одна из радиальных центробежных сил, возникающих

во время вращения колеса, не уравнивается суммарной силой остальных центробежных сил. При движении автомобиля центробежная сила изменяется как по величине, так и по направлению. Действуя вверх, эта сила стремится оторвать колесо от дороги. Действуя вниз, она прижимает его к дороге. Как результат ее действия, замечен повышенный износ шин и подшипников колес. Центробежная сила увеличивается с увеличением скорости движения автомобиля. Неуравновешенные массы могут возникать при производстве шин при неправильной ее сборки, а так же вследствие местных ремонтов шины. Динамический дисбаланс – это момент, равный геометрической сумме моментов всех дисбалансов колеса относительно его центра масс. Проще говоря, под разностями центробежных сил, расположенных в общем случае несимметрично относительно оси профиля колеса возникает противоположный по направлению момент. Этот момент стремится отклонить колеса от первоначальной плоскости его вращения. [56, 28].

Динамический дисбаланс приводит к повышенному износу подшипников колес, шарниров рулевого привода шин. При динамической балансировке уменьшается как моментная, так и статическая неуравновешенность колеса одновременно. У сбалансированного колеса дисбаланс начинает интенсивно развиваться после балансировки до пробега около 10 тыс. км, а затем стабилизируется вследствие наличия отрицательной обратной связи [26, 28].

1.2.6 Дорожные и климатические условия

Дорожные условия оказывают существенное влияние на срок службы шин. На интенсивность износа влияет тип и состояние дорожного покрытия, продольный и поперечный профиль дороги, а так же величина радиусов поворотов и их частота. Наличие неровностей дороги вызывает большие динамические нагрузки на каркас шин, нагрев и разрушения. При увеличении выпуклости дороги происходит перераспределение веса в поперечном направлении. Спуски и подъемы, извилистость дороги так же увеличивают

износ шин вследствие перераспределения веса по осям, воздействия боковых сил на поворотах, а так же из-за частых разгонов и торможений [51].

С увеличением шероховатости дороги износ шин увеличивается. С увеличением выпуклости дороги увеличивается неравномерность износа. Срок службы шин на горных маршрутах на 15-20% ниже. Выбоины, повреждения дороги снижают срок службы шин на 10-15% [22].

По сравнению с асфальтобетонными дорогами на гравийно-щебеночных дорогах ресурс снижается примерно на 25%, на каменистых разбитых дорогах на 50% [30].

Дорожные условия в различных регионах существенно различаются по продольному профилю, состоянию дорожного покрытия и другим показателям. Но что касается автотранспорта конкретного АТП, в реальной эксплуатации дорожные условия варьируют в нешироких пределах. Поэтому дорожные условия можно отнести к фоновым факторам и не включать их характеристики в модель. При этом их влияние на долговечность шин учитывается в математических моделях наряду с другими фоновыми факторами свободным членом [17].

К климатическим условиям, влияющим на износ шин относятся: температура окружающей среды, атмосферное давление, влажность окружающего воздуха и др. Увеличение температуры окружающего воздуха влечет за собой изменение температуры нагрева шины и соответствующее изменение эластичности шинных материалов. С увеличением температуры окружающего воздуха происходит понижение герметичности шины вследствие увеличения диффузии воздуха через стенки камеры. В летнее время года процесс изнашивания шин значительно интенсивнее, чем в зимнее время. Так, зимой на твердом дорожном покрытии износ шин примерно на 25-30% меньше, чем летом. Однако в условиях низкой температуры возможен преждевременный износ вследствие потери резиной эластичности и появления хрупкости [51, 28].

В [19] говорится о том, что оптимальный температурный режим работы шины 70-75 °С. При нагреве до 100 °С износостойкость резины и прочность связи между резиной и кордом снижается в 1,5-2 раза. Нагрев до 120 °С считается опасным, а выше – критическим. При температурах минус 40 °С и ниже, непрогретые шины из неморозостойкой резины при ударах или резком движении с места могут растрескаться.

Повышенная влажность окружающего воздуха приводит к интенсивному старению шинных материалов, равно как и всех резинотехнических изделий. Они растрескиваются, теряют упругость и эластичность.

1.3 Существующие системы контроля давления шин на предприятии

Как уже говорилось ранее, давление – один из наиболее важных факторов, влияющих на интенсивность износа, но которому не уделяется должного внимания. Причина этого кроется в отсутствии обязательных требований для контроля давления. Например, на сегодняшний день существует система контроля давления воздуха в шинах (Таблица 1.1) [18].

Таблица 1.1 – Система контроля давления воздуха в шинах

Периодичность	Исполнитель	Измерительный инструмент	Регламентируемый документ
Ежедневно	Водитель	Визуально	Положение о ТО и Р
Ежедневно	Механик КТП	Визуально	Положение о ТО и Р
Через 7 дней	Водитель	Ручной манометр	Правила эксплуатации шин
Через 30 дней	Механик КТП	Ручной манометр	Правила эксплуатации шин
Каждое ТО-1	Слесарь	Манометр воздухораздаточной колонки	Положение о ТО и Р

Эта система работает на предприятии в «урезанном» варианте – давление в шине контролируется визуально, а при использовании ручного манометра всегда есть вероятность «залипания» золотника (особенно в холодное время года), который начинает стравливать давление, и который невозможно потом

восстановить в штатное положение, не прибегая к его демонтажу. Поэтому контроль давления производится только визуально, а подкачиваются шины не чаще раза в месяц.

Проблема визуального контроля давления заключается в том, что невозможно с достаточной точностью определить его фактическое значение. Например, по данным компании Michelin для шин легковых автомобилей [69], если давление на 0,5 бар ниже нормы, то визуально это никак не проявляется. Если давление ниже на 1 бар, то видна небольшая деформация боковины. Если давление ниже на 1,5-2 бар, то видна значительная деформация боковины.

Давление в шинах может изменяться по причине диффузии, изменении температуры, атмосферного давления и механических повреждений шины или диска. По данным [33], давление в легковой шине падает за 30 суток с 2 бар до 1,5 бар, а за 60 суток до 1 бар. Для грузовых шин падение давления будет несколько больше: за 30 суток падение давления составляет 1,5-2 бар, это происходит из-за большей диффузионной площади шины, а так же большего изначального давления. Температура и атмосферное давление изменяют значение давления в краткосрочной перспективе, в зависимости от условий эксплуатации. А вот механические повреждения шины, которые не могут быть вовремя диагностированы в процессе эксплуатации могут привести к аварийным ситуациям.

1.4 Системы мониторинга давления в шинах

Негативные и зачастую опасные факторы, влияющие на безопасность и экономичность, могут быть легко устранены с использованием систем мониторинга транспортных средств для контроля давления в шинах (англ. Tire Pressure Monitoring System) или TPMS. Это система дистанционного измерения давления и температуры в шинах транспортного средства, которая производит измерения в режиме реального времени, что позволяет предотвратить аварийные ситуации, связанные с повреждением шины, чрезмерный износ

вследствие ненормативного давления, а так же позволяет предотвратить перерасход топлива, вызванного снижением давления [36].

История массового применения TPMS для легковых автомобилей ведет отсчет с законодательного акта TREAD – The TREAD (Transportation Recall Enhancement, Accountability and Documentation) – это акт, одобренный конгрессом США в ноябре 2000-го. Согласно акту, в автомобилях должна существовать система проверки и сигнализации о ситуации, в которой одна или более шин значительно недокачана [48]. В настоящее время в США действует федеральный стандарт Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) № 138, разработанный Национальной Администрацией шоссейного движения NHTSA, предписывающий обязательную установку систем TPMS в новых автомобилях [36].

В первой редакции правила NHTSA Final Rule, принятые 5 июля 2002 г., регламентировали мониторинг недокачки всех шин более чем на 25% и более чем на 30% одной шины, а также предупреждали водителя о данной ситуации в течение 10 мин. Правила разрешали автопроизводителям устанавливать как системы прямого измерения давления в шинах, так и непрямого (косвенного). Постепенное введение в действие правил осуществлялось в период с 31 октября 2003 г. до 1 ноября 2006 г.

Правила NHTSA Final Rule были пересмотрены в апреле 2004 года и регламентировали мониторинг недокачки любой из шин более чем на 25% формирование предупреждающего сигнала в течение 20 мин, наличие индикатора состояния с дополнительным сбойным сигналом и применение только прямой системы измерения. Тестирование давления проводится на скоростях 50-100 км/ч. Постепенное введение этих правил осуществлялось в период с 5 октября 2005 г. и завершалось 31 августа 2007 г., то есть в настоящий момент все автомобили в США, выпущенные после августа 2007 г., должны быть оборудованы TPMS [48].

Так же параллельно был разработан стандарт SAE J2567, в первоначальном варианте опубликованный в декабре 2004 г. А позже и международный ISO/FDIS 21750, опубликованный в марте 2006 года. Эти два

стандарта придерживаются основных требований FMVSS № 138, но охватывают спецификации TPMS более широко. Например, оба разрешают применение прямых и непрямых систем контроля давления. Стандарт SAE J2567 в общем виде соответствует FMVSS №138, но процентное соотношение давления, по которому шина диагностируется как значительного недокачанная, не устанавливается, срабатывание регламентируется в течение 10 мин, минимальная скорость работы – на 24 км/ч [48].

Стандарт ISO/FDIS 21750 наиболее широко охватывает спецификации TPMS, в частности, регламентируется точность порядка 2% полной шкалы в температурном диапазоне от 0 до 70 °C, минимальный срок службы порядка 6 лет/100 000 км, допускается мониторинг запасной шины. В стандарте отсутствуют требования для определения движения колеса, но тестирование выполняется на скоростях >25 км/ч, предупреждающий сигнал о давлении подается в течение 3 мин, предупреждающий о сбое – в течение 10 мин [48].

TPMS так же должны соответствовать требованиям Федеральной комиссии по связи – Federal Communications Commission (FCC) и Европейского Института Стандартов для коммуникаций – European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Рабочие радиочастоты для TPMS и RKE (Remote Keyless Entry) выбираются в нелицензированных частотных диапазонах ISM 315-434 МГц и 868-930 МГц. Для TPMS, совмещенных с RKE-ресивером, ожидается использование частот ISM 315 МГц для США и 434 МГц для Европы [48].

1.4.1 Виды систем мониторинга давления в шинах

В настоящее время применяются два типа систем мониторинга давления в шинах. Это система прямого (Direct measured) и косвенного (Indirect) измерения. Система прямого измерения измеряет непосредственно температуру и давление шин и использует передатчик. Система косвенного измерения проверяет давления в шинах по различиям в скорости вращения колес. Виды и

разновидности систем мониторинга внутреннего давления представлены на рисунке 1.7.

Принцип любой системы мониторинга давления достаточно прост. Датчики давления производят замер давления в шине с определенным интервалом времени, после чего по средствам радиоканала информация передается в блок управления, где происходит ее анализ (сверение измерений с нормативными значениями), в случае прокола и быстрого уменьшения давления в шине, измерения давления датчиком происходят чаще, а блок управления оповещает об этом водителя.

Стандартная архитектура системы TPMS состоит из:

- Четырех колесных модулей измерения давления, каждый из которых включает в себя: датчик давления; датчик температуры; блок формирования сигнала и идентификации шины; трансмиттер, передающий радиосигнал; антенну; кристаллический (кварцовый) резонатор; батарею.

- Ресивера на приборной панели.

- Блока обработки сигнала на приборной панели.

Системы прямой проверки используют датчики, размещенные внутри шины, которые непосредственно измеряют давление и температуру газа в шине. С помощью передатчика, расположенного внутри датчиков, данные о состоянии шины передаются сигналами ВЧ диапазона. Приемник (ресивер) может располагаться как в самом блоке обработки сигнала, находящимся на приборной панели, так и за его пределами. Блок обработки сигнала информирует водителя о текущем состоянии давления в шинах.

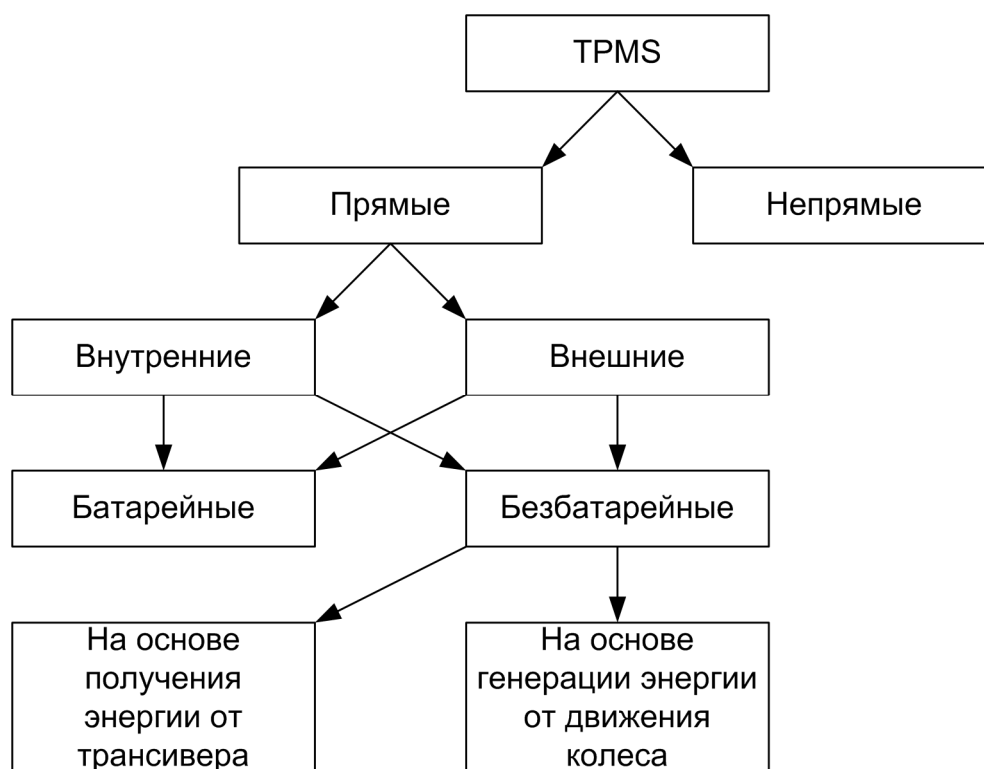


Рисунок 1.7 – Виды и разновидности систем контроля давления

Непрямая (косвенная) система вычисляет давление в шине, используя систему АБС, включая датчики давления колес и (или) акселерометры, и локальный компьютер. Если давление в шине становится низким, данное колесо будет вращаться быстрее, чем другие колеса, в связи с уменьшением его радиуса. Различия в скорости позволяют детектировать низкое давление, а предупреждающий индикатор будет сигнализировать об этом водителю, но эти многопараметрические методы сложно реализуемы и требуют периодической калибровки. У непрямой системы есть преимущества – низкая стоимость, так как не требуется батарейные датчики и системы радиопередачи. Но она не может определять давление перед началом движения, спаренных шин в одном узле, имеют ограничения в скорости и траектории движения, для них не существует понятие точности абсолютных измерений, нет возможности определить в каком колесе упало давление и определить медленное падение давления, так же они не способны детектировать недокачку только более 30% [36, 48].

Прямые системы мониторинга, в свою очередь, делятся на внутренние – когда модуль крепится на обод или шину (рис. 1.8), и внешние – модуль навинчивается на ниппель колеса (рис. 1.9).

Внутренние датчики встраиваются вместо стандартных ниппелей таким образом, что сенсор находится внутри шины, что достаточно неудобно, так как требует дополнительного шиномонтажа, но, при этом датчики защищены от внешнего воздействия среды и вандажных действий. Но поскольку срок действия элемента питания составляет 5-10 лет, можно обойтись только первоначальной демонтажем шины и установкой датчика, последующие замены элементов питания можно производить при замене шины.



Рисунок 1.8 – Пример системы мониторинга на основе внутренних датчиков [34]

Внешние датчики, в отличие от внутренних, монтируются на штатные ниппели и не требуют дополнительного шиномонтажа. Это позволяет не только быстро установить систему, но и использовать ее на нескольких автомобилях. Например, демонтировать датчики с автомобиля, находящимся в простое и применить их к транспортному средству, вышедшему в линию. Но такие датчики не защищены от взаимодействия окружающей среды. [36].

Стоит отметить тот факт, что использование датчиков давления на грузовых автомобилях и автобусах несколько затруднено в связи их достаточно большой протяженности, в таком случае сигнал от датчика может «потеряться». Для этого используют специальные ретрансляторы-усилители сигнала (репитеры). Данные системы выступают в роли промежуточного звена при передаче сигнала от датчиков к блоку приема, минимизируя вероятность потери сигнала.



Рисунок 1.9 – Пример системы мониторинга на основе внешних датчиков

Энергосбережение – очень важный аспект колесного модуля TPMS, не предлагающего замену батареи 5-10 лет. Для этого в системе колесного модуля используется система энергосбережения. Смысл этой системы в переходе в неактивный режим при отсутствии движения и переход в активный режим при движении. Так же имеются временные интервалы измерения давления, так при обычном движении измерения могут быть один раз в 45 секунд (в зависимости от производителя), а при резком снижении давления интервал измерения

происходит раз в 15 секунд. Однако это не отменяет того факта, что срок службы батареи ограничен, поэтому существует концепция безбатарейных колесных модулей TPMS. Эта концепция подразумевает несколько видов модулей: с передачей энергии для питания датчика; с получением энергии от движения колеса. Однако эти методы более дорогостоящие в отличие от батарейных модулей. Безбатарейные модули имеют меньший вес и размер, что теоретически повысит срок службы и надежность устройства [48].

1.5 Анализ шин и подвижного состава на предприятии

На предприятии ОАО «Автоколонна 1967» используется разномарочный подвижной состав, почти под каждую марку автобуса используется не только свой размер шины, но и своя марка, это объясняется идущими в комплекте вместе с автобусом шинами, которые еще не прошли свой ресурс. В дальнейшем закупка сводится к одной марке, которой сейчас большинство. Конечно же целесообразно проводить исследования по самой многочисленной группе одномарочных шин и автобусов. Самые распространенные автобусы на данный момент: Hyundai Universe Space Luxury и Daewoo BH120, а самые распространенные шины размером 11R22,5 Longmarch LM216 (всесезонные) производства Южной Кореи.

1.5.1 Характеристика исследуемого подвижного состава

На ОАО «Автоколонна 1967» используется большой разномарочный парк автобусов разного года выпуска и пробега, но в работе рассматриваются марки автобусов, на которых используются шины Longmarch LM216. Подвижной состав, его пробег и год выпуска представлен в таблицах 1.3 и 1.4, а основные технические характеристики представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.3 – Характеристика автобусов Hyundai Universe Space Luxury

№ П/П	Год выпуска	Общий пробег, км	№ П/П	Год выпуска	Общий пробег, км
1	2012	108 359	16	2011	683 312
2	2012	118 201	17	2009	699 987
3	2012	121 524	18	2009	739 138
4	2012	123 398	19	2011	756 910
5	2012	175 041	20	2008	767 882
6	2012	181 189	21	2009	800 806
7	2012	228 569	22	2009	835 724
8	2012	234 145	23	2012	861 964
9	2012	249 605	24	2009	916 885
10	2012	481 077	25	2009	951 737
11	2012	538 122	26	2009	966 498
12	2011	587 455	27	2008	982 077
13	2011	631 602	28	2008	1 007 283
14	2009	672 087	29	2008	1 037 156
15	2011	681 269	30	2008	1 159 532
Средний год выпуска			2010		
Средний пробег, км			609 951		

Таблица 1.4 – Характеристика автобусов Daewoo BH120

№ П/П	Год выпуска	Общий пробег, км	№ П/П	Год выпуска	Общий пробег, км
1	2013	158 270	11	2012	388 138
2	2013	162 846	12	2011	388 979
3	2013	180 217	13	2011	396 694
4	2013	186 031	14	2011	428 567
5	2013	200 288	15	2011	436 493
6	2013	209 214	16	2011	446 035
7	2013	211 331	17	2011	447 027
8	2012	318 745	18	2011	451 405
9	2011	326 600	19	2011	505 040
10	2012	368 463	-	-	-
Средний год выпуска			2012		
Средний пробег, км			326 862		

Поскольку весовая нагрузка является фактором, влияющим на интенсивность износа шин, рассмотрим характеристики автобусов, оказывающих влияние на этот фактор.

Таблица 1.5 – Весовые характеристики исследуемых автобусов

	Hyundai Universe Space Luxury	Daewoo BH120
Количество мест	45	44
Масса		
Снаряженная масса, кг	11 975	12 170
Передний мост, кг	4225	4868
Задний мост, кг	7720	7302

Из таблицы 1.5 видно, что масса автобусов и нагрузка на оси примерно одинакова, а учитывая меньшее количество мест на Daewoo BH120, при полной загрузке автобуса пассажирами, масса автобусов будет еще более сопоставима между собой.

1.5.2 Характеристики и ходимость шин

Как уже говорилось ранее, на предприятии используются шины Longmarch LM216, характеристики которых представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Характеристики шин Longmarch LM216

Характеристика	Значение
размер	11R22,5
максимальная нагрузка на переднюю ось, кг	3150
максимальная нагрузка на заднюю ось, кг	2900
нормативное давление, бар	8,5
Тип шины	Радиальная всесезонная

По отчетным данным было проанализировано 621 шин данного производителя. Большая часть из исследуемых шин имеет неравномерный износ (под неравномерным понимается, в данном случае, разность износа плечевой и средней зон протектора) – 57 % (рисунок 1.10), равномерный износ имеют лишь 30 % шин, а к другим видам износа и повреждений относятся такие, как: боковая грыжа – 0,6 %; боковой износ – 0,6 %; боковой порыв – 0,6 %, износ до корда – 0,3 % и отслоение протектора от корда – 7,2 %.

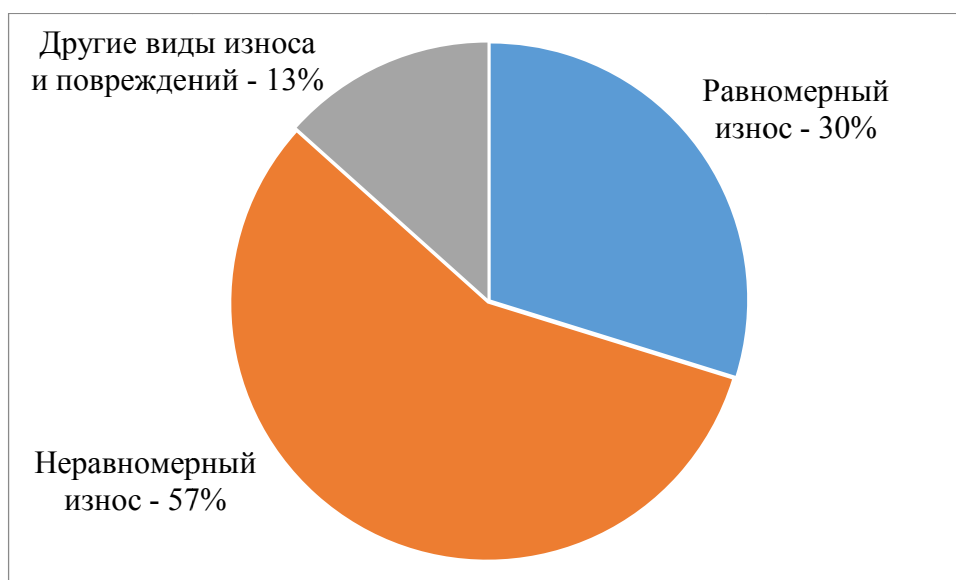


Рисунок 1.10 – Характер износа шин в конце эксплуатации

На рисунке 1.11 представлена гистограмма эмпирического распределения ресурса шин по генеральной совокупности (621 шина), которая была разбита на 11 интервалов, длина каждого интервала 15 127 км. Как видно из рисунка 1.11, шины наиболее отказывают в интервале со средним ресурсом в 145 тысяч, тогда как средний ресурс всей генеральной совокупности равен 153 387 км.

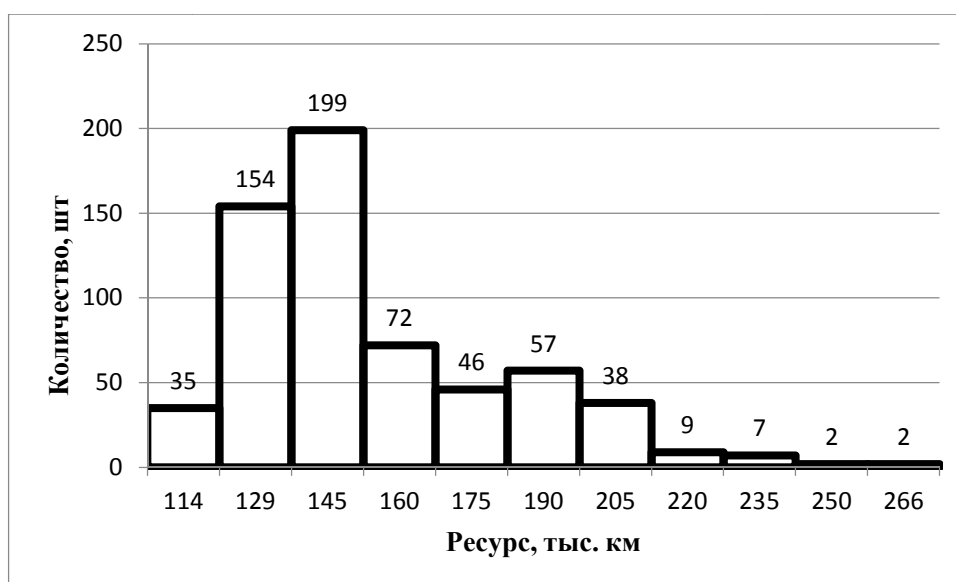


Рисунок 1.11 – Гистограмма эмпирического распределения ресурса шин

Произвести статистическую оценку генеральной совокупности (621 шина) достаточно сложно, поэтому выборка была определена по непараметрическому методу

$$N = \frac{\ln(1-\gamma)}{\ln(P(L))} = \frac{\ln(1-0,9)}{\ln(0,9)} \approx 27. \quad 1.22$$

где γ – доверительная вероятность, $P(L)$ – требуемая вероятность безотказной работы в течении некоторой наработки.

Применяя параметрический метод определения объема выборки, предполагая закон распределения отказов шин Вейбулла-Гнеденко (коэффициент вариации $V = 0,088$, параметр формы $b = 12,1537$, величина допустимой относительной ошибки $\delta = 0,027$, доверительная вероятность $\gamma = 0,9$, критерий Пирсона $\chi^2 = 43,188$), получим

$$N = \frac{\chi^2 \cdot (\delta + 1)^b}{2} = \frac{43,188 \cdot (0,027 + 1)^{12,1537}}{2} = 30. \quad 1.23$$

Таким образом, минимальный объем выборки для оценки генеральной совокупности составляет 30 автомобилей.

Для оценки закономерностей распределения случайных величин и показателей надежности шин была проведена статистическая обработка вариационного ряда по наработкам до отказа шин, блок-схема которой представлена на рисунке 1.12.

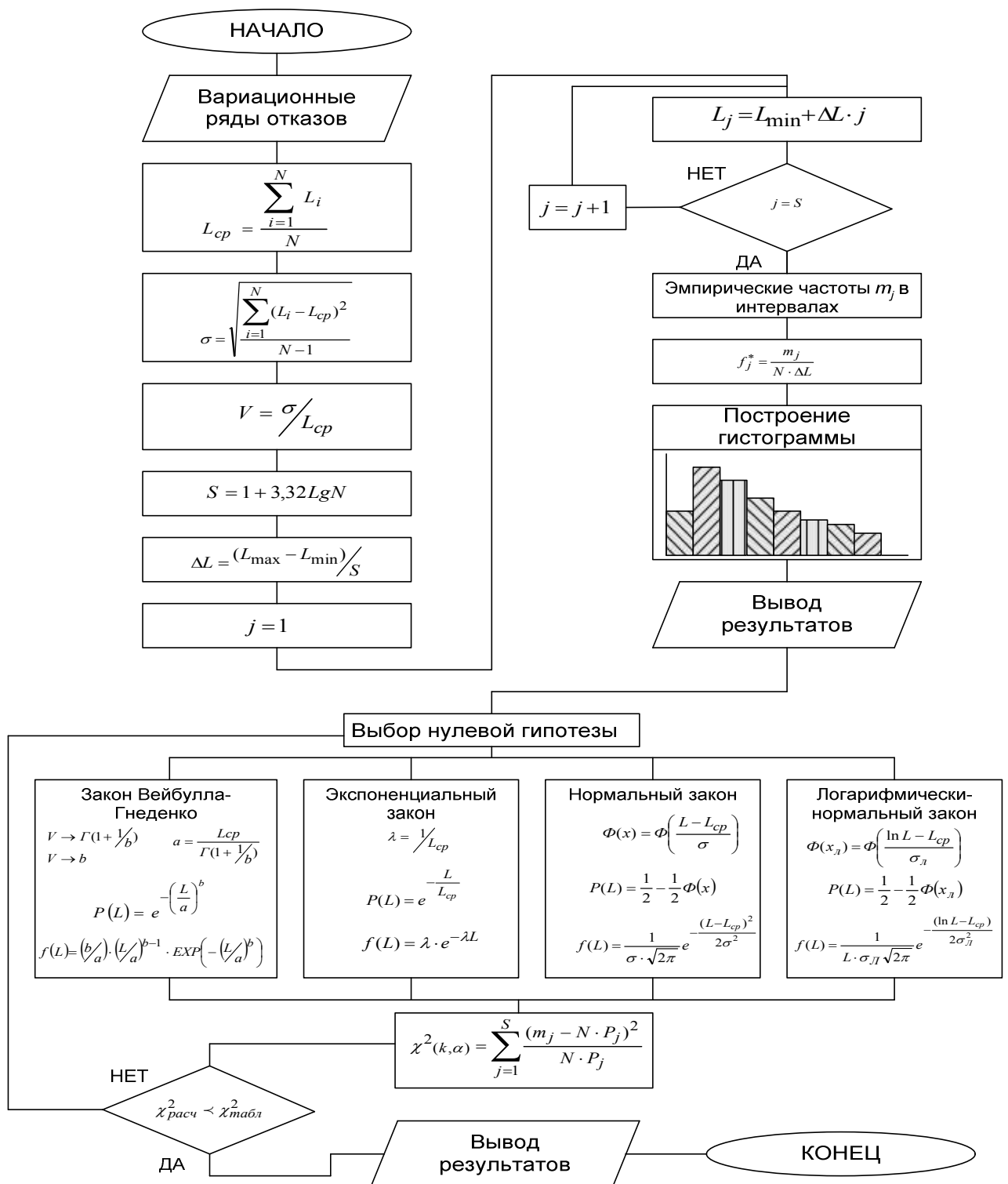


Рисунок 1.12 – Блок-схема статистической обработки вариационного ряда [5]

В ходе статистической обработки был подтвержден закон распределения случайных величин Вейбулла-Гнеденко с $\chi^2_{расч} = 8,5 < \chi^2_{табл} = 9,4$ при числе степеней свободы $k = 3$ и уровнем значимости $\alpha = 0,05$.

На рисунке 1.13 представлено полученная теоретическая вероятность безотказной работы шин, распределенная по закону Вейбулла-Гнеденко.

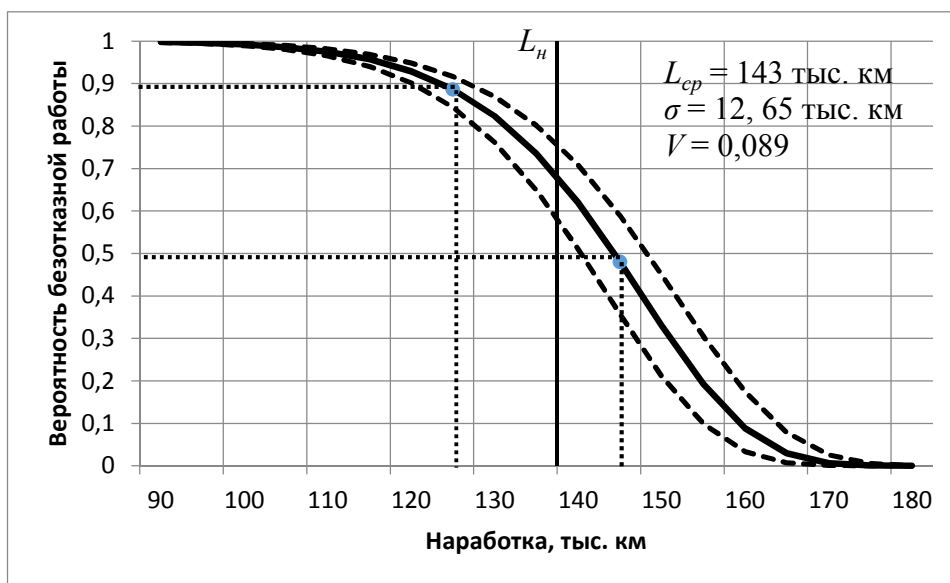


Рисунок 1.13 – Вероятность безотказной работы шин

По отчетным данным так же был проведен анализ остаточной глубины протектора на момент списания шины. Средняя граница протектора имела остаточную глубину 2,17 мм, а левая и правая – 1,98 мм и 2,08 мм соответственно. То есть в конце своего периода эксплуатации шина имеет более изношенную плечевую зону протектора, чем середину. Что говорит об эксплуатации с недостаточным внутренним давлением. Поэтому был проведен сбор статистики по внутреннему давлению в шинах, на котором эксплуатируются автобусы в разных периодах наработки шин. На рисунке 1.14 представлена гистограмма распределения внутреннего давления воздуха в шинах. Было исследовано давление в 70 шинах, среднее давление которых составило 7,47 бар, что на 12,13 % ниже нормативного давления (нормативное давление – 8,5 бар), согласно нормативному давлению были накачаны только две шины.

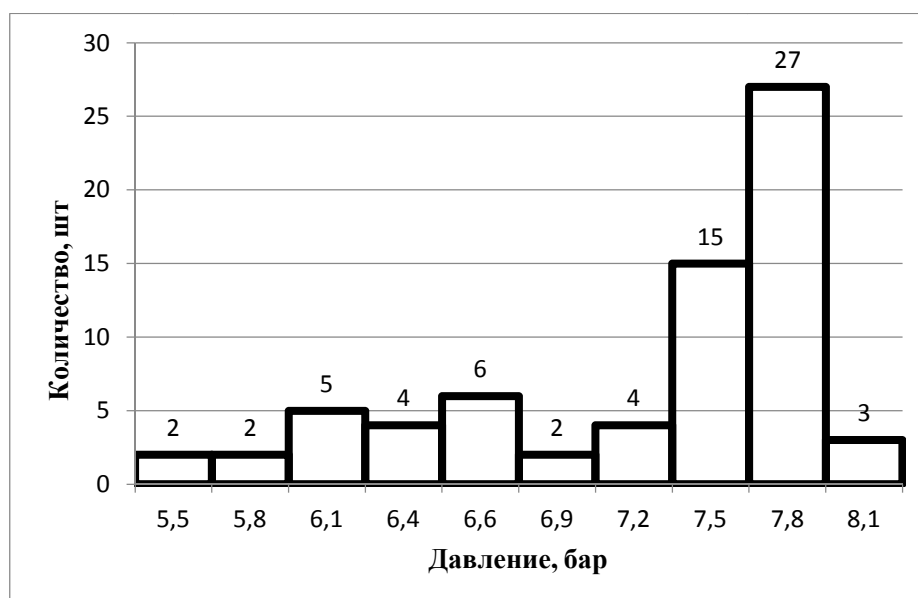


Рисунок 1.14 – Гистограмма эмпирического распределения внутреннего давления в шинах Longmarch LM 216

Такая ситуация объясняется визуальным контролем, который не дает точных сведений о фактическом внутреннем давлении шины [69]. С помощью манометра давление проверяется каждое ТО-2, что согласно [49] недостаточно для поддержания нормативного давления при накачке шин атмосферным воздухом.

1.6 Методы оценки интенсивности износа шин

Для определения скорости износа протектора шин, необходимо выбрать оптимальный метод измерения. В настоящее время существует большое множество методов оценки остаточной глубины протектора: метод с применением радиоактивных изотопов; весовой метод; по установки в шину индикаторов износа; метод искусственных баз, с помощью краски, с помощью глубиномера.

Наиболее точным методом измерения является радиоактивный метод. Перед испытаниями под поверхность протектора вводятся точечные радиоактивные источники. При износе глубина заделки источника

уменьшается, интенсивность излучения, замеряемая на поверхности протектора, увеличивается. Износ определяется по показаниям приборов, регистрирующих интенсивность излучения. Погрешность измерения 0,01-0,02 мм [27].

Другой радиоактивный метод определения износа впервые был применен в США [47]. Радиоактивный изотоп P^{32} вводится в протектор при изготовлении шины. Износ измеряется по радиоактивности следа, оставленного шиной на дороге. Этот метод давал возможность выявлять качественное влияние различных факторов на износ, но не позволял количественно оценить износ шин [22]

В Чехии был разработан способ измерения износа, основанный на поглощении резиной радиоактивного излучения, при этом методе резиновые шайбы с иодидом талия 204 вводится в надрезы, сделанные в элементах рисунка протектора. При износе протектора, толщина поглощающего слоя резины и интенсивность излучения уменьшается а излучение на поверхности шины увеличивается. Если известна поглощающая характеристика резины, то можно по изменению числа импульсов определить с высокой точностью изменение толщины поглощающего слоя, а следовательно и износ протектора. Способ позволяет определить износ в заданной точке протектора с точностью 0,01 – 0,02 мм. Недостатком этого метода можно назвать низкую надежность и высокую сложность способа [7].

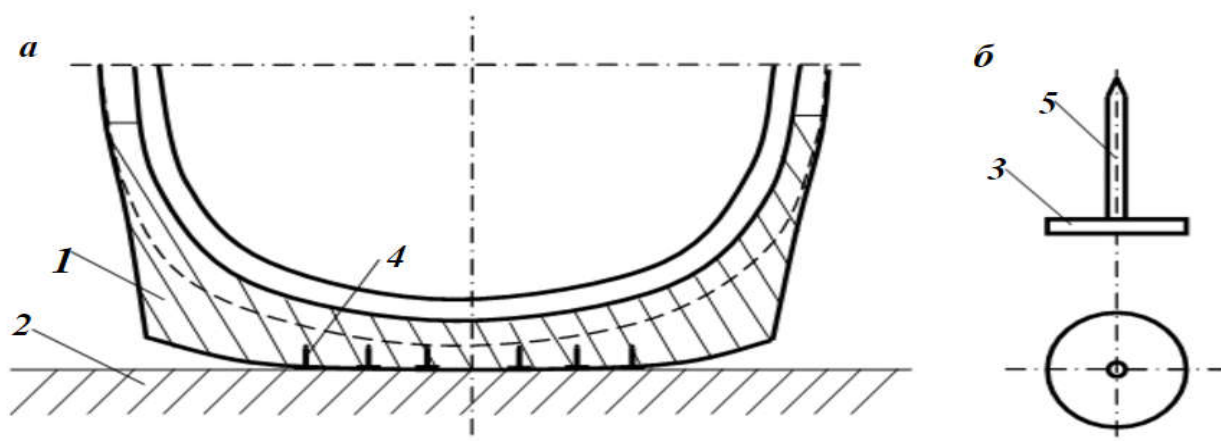
В России разработан метод, лишенный этих недостатков [40]. Источники излучения, изготовленные на основе радиоактивного талия в виде металлической проволоки диаметром 0,3 мм, вводятся специальным приспособлением в различные места протектора на глубину 1,5 мм. Измеряя активность проникающего излучения, можно судить об износе слоя резины над источником. После износа порядка 1 мм источник удаляется из протектора и в соседнюю шашку протектора помещается новый источник [22].

Методы на основе радиоактивных вещества не получили широкого распространения в АТП не смотря на свою высокую точность, так как требуют

специальных правил обращения с радиоактивными веществами и являются трудновыполнимыми. А используемая аппаратура сложна и громоздка, так же велика трудоемкость измерения. Поэтому использование этого метода больше оправдано в специализированных лабораториях.

Весовой метод получил достаточно широкое распространение в тех случаях, когда нужно получить точные значение износа. Ведь данный метод значительно проще радиоактивного метода, но имеет приближенную к нему точность. Погрешность при взвешивании определяется весами. Сущность метода заключается в том, что шина взвешивается до и после испытаний, но перед взвешиванием шину необходимо тщательно отмыть от грязи и высушить [27]. Данный метод, опять же, больше подходит для специализированных лабораторий, потому как трудоемкость подготовки к измерениям достаточно высока.

Метод определения износа с помощью укрепленных к протектору пластин разработан Н.М. Кислицыным [23], принципиальная схема данного метода представлена на рисунке 1.15.



a – схема установки вставок в протекторе шины; *б* - вставка

Рисунок 1.15 – Схема определения износа шин с помощью укрепленных к протектору пластин

В протекторе шины 1 закрепляют вставки 4 с пластиной 3, которые взаимодействуют с дорожным покрытием 2. При качении колеса пластины вставок, закрепленных на протекторе с помощью заостренных штырей 5, изнашиваются. Величина износа пластины пропорциональна величине износа

соответствующих участков шины. После пробега в несколько тысяч километров вставки вынимаются с помощью кусачек для оценки величины их износа, например, взвешиванием, или измерением толщины пластины [27].

Метод нарезания искусственных баз или контактный метод предполагает изготовления на шине цилиндрических углублений в канавках рисунка протектора – искусственных баз, относительно которых измеряется глубина рисунка протектора на специальной установке в лабораторных условиях [27].

Метод определения износа с помощью краски. На беговую дорожку шины специальной краской наносят кружки диаметром 6 мм, по стиранию которых судят об износе протектора. К недостаткам можно отнести необходимость предварительной окраски и сушки шин в лабораторных условиях, визуальная оценка степени стирания краски из-за невозможности определения толщины слоя краски [27].

Измерение износа с помощью глубиномера получил наибольшее распространение из-за высокой производительности измерений и отсутствия каких-либо трудоемких подготовок к измерениям. Глубиномером измеряется высота рисунка протектора относительно его канавки в одних и тех же местах. Способ не требует специальной подготовки шин, инструмент для измерения весьма прост. Вместо глубиномера может использоваться штангельциркуль, в таком случае погрешность измерений составит около 0,4 мм. К недостатку метода можно отнести невысокую точность измерения из-за отсутствия фиксированных точек измерений и трудностям при установке инструмента вертикально к поверхности шины [27]. Погрешность измерений можно снизить, проводя измерения в одних и тех же фиксированных точках, а так же увеличением количества замеров с определением среднего износа по шине.

Проведенный выше анализ методов измерений интенсивности износа показал, что существует множество методов измерений остаточной глубины протектора, однако каждый из методов обладает как рядом преимуществ, так и рядом недостатков. Так, большинство методов имеют одинаковый недостаток – необходимость в дорогом и громоздком оборудовании, а так же высокая

трудоемкость измерений, но все эти методы дают более точные результаты. Из-за большого числа автобусов в подконтрольной группе, целесообразнее использовать метод измерения, имеющий высокую производительность, этим требованиям удовлетворяет метод измерений с использованием цифрового глубиномера. Для проведения измерений был выбран цифровой глубиномер с погрешность 0,01 мм, что является вполне достаточной точностью для измерений. Общий вид цифрового глубиномера представлен на рисунке 1.16.



Рисунок 1.16 – Цифровой глубиномер

Однако точность измерения цифровым глубиномером может иметь случайную ошибку, допущенную экспериментатором. Для уменьшения вероятности ошибки, необходимо увеличить количество измерений, причем измерения необходимо проводить в строго определенных точках.

Согласно [12], высоту рисунка протектора измеряют не менее чем в четырех сечениях по окружности шины. Первое сечение шины намечают в месте одной из маркировок шины, остальные – равномерно по окружности по часовой стрелке. В каждом сечении по ширине беговой дорожки в зависимости от конфигурации рисунка протектора выбирают не менее двух мест измерения центральной части беговой дорожки и не менее двух по краям. Для протектора, имеющего по центру канавку, измерения проводят по этой канавке. Если рисунок протектора имеет по центру ребра или выступы, его высоту измеряют

в двух канавках справа и слева от выступа. При протекторе, образованным двумя беговыми дорожками, измерения проводят в середине каждой беговой дорожки. Места измерения по краям беговой дорожки должны обеспечивать охват центральной зоны, равной трем четвертям ее ширины.

Рахимовым Р.Х. [40] разработана специальная методика измерения, в процессе разработки которой доказана достаточность измерений глубины протектора в двух диаметрально противоположных точках, одна из которых находится против заводского номера шины по центру протектора. Среднеарифметическое значение глубины протектора, полученное в результате замеров в двух точках, служит исходной информацией для определения величины интенсивности износа шин. Данная методика, имея практически такие же значения оценочных показателей, что и по 12 или 16 точкам, более простая и технологична, требует меньших трудозатрат на измерения [22]. Именно эта методика и была применена при проведении измерений.

1.7 Цель, задачи и общая методика исследования

На основе анализа научно-исследовательских работ, факторов влияния и процесса эксплуатации шин на предприятии ОАО «Автоколонна 1967» можно сделать следующие выводы:

- на шины влияет большое множество факторов, уровень влияния которых может существенно варьироваться в зависимости от производителя шин, марок автобусов, климатического региона, высоты над уровнем моря, состоянии дорог, типа рельефа местности и др;
- влияние различных факторов по отдельности на ресурс шин изучено достаточно хорошо, однако недостаточно изучено их сочетание;
- невозможно разработать универсальную модель износа шин, которая бы учитывала все многообразие факторов в условиях разных климатических зон, рельефа местности, типа подвижного состава и производителей шин;

- рассмотренные в пункте 1.1 математические модели не учитывают региональные условия эксплуатации юга Сибири;

- как показал анализ статистики, несмотря на значительное влияние недостаточного внутреннего давления в шине как на ее ресурс и расход топлива, так и на безопасность движения, его контролю уделяется недостаточно внимания;

- проблема сокращения затрат на шины и топливо, а так же повышение безопасности движения, является все еще актуальной задачей.

Поэтому целью настоящей работы является снижение эксплуатационных затрат и выбросов вредных веществ путем разработки системы управления ресурсом шин на основе использования систем мониторинга транспортных средств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ и рассмотреть комплексное влияние сочетания факторов на интенсивность износа шин по имеющимся литературным данным;

- провести анализ статистических данных о давлении и ходимости шин и выбрать основные эксплуатационные факторы влияния на интенсивность износа протектора;

- составить многофакторные регрессионные модели зависимости интенсивность износа протектора шины от основных эксплуатационных факторов;

- разработать на основе регрессионных моделей мероприятия, позволяющие уменьшить интенсивность износа протектора шины;

- рассмотреть методы управления ресурсом шин на основе использования систем мониторинга;

- оценить экономический и экологический эффект от внедрения предложенных разработок.

В соответствии с поставленными задачами была разработана общая методика исследования (Таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Общая методика исследования

УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ ШИН НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ			
ЭТАП 1. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ			
Анализ научно исследовательских работ в области эксплуатации шин	Определение факторов, влияющих на интенсивность износа шин	Рассмотрение существующих методов измерения глубины протектора и систем мониторинга давления в шинах	
ЭТАП 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА			
Определение значимых факторов на основе анализа данных первого этапа и представление процесса износа шин в виде «черного ящика»	Методика планирования многофакторного эксперимента	Выбор уравнения регрессии и построение матрицы планирования эксперимента	
ЭТАП 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ			
Оценки точности измерения остаточной глубины протектора	Построение матрицы кодирования и исходной матрицы эксперимента	Множественный регрессионный анализ результатов	Построение регрессионных моделей и представление поверхностей отклика
ЭТАП 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ			
Сопоставление результатов с проведенными ранее исследованиями	Составление мер и рекомендаций для повышения ресурса шин с использованием систем мониторинга		Экономическая и экологическая оценка результатов исследования

На первом этапе проводится анализ научно-исследовательских работ в области технической эксплуатации шин. Проводится анализ всех существующих факторов и степени их влияния на интенсивность износа протектора шин. Рассматриваются известные методы измерения остаточной глубины протектора шин, а так же существующие и концептуальные системы мониторинга для контроля давления в шинах. Результатом первого этапа можно считать постановку цели и определение задач исследования.

На втором и третьем этапах производится описание процесса износа шин и выбора наиболее влияющих факторов в заданных условиях эксплуатации. Производится общее изложение методики проведения эксперимента и обработки экспериментальных данных, результатом этих этапов являются регрессионные модели для каждого из рассмотренных маршрутов и графическое представление поверхностей отклика этих моделей.

На четвертом этапе производится оценка экономического и экологического эффекта от использования систем мониторинга и сопоставление результатов с научными исследованиями.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1 Определение факторов для учета в регрессионной модели и их влияние на интенсивность износа шин

Как уже говорилось ранее, на интенсивность шин влияет большое количество факторов (рис.1.1, 1.2) [44, 56, 4]. Под интенсивностью износа шин понимается отношение измерения глубины протектора Δh за относительно малый интервал пробега (до 2000 км) к величине этого интервала пробега ΔL [20]

$$J_{ш.м.} = \Delta h / \Delta L, \text{ [мм/1000 км]}. \quad (2.1)$$

Чаще всего используется понятие “средняя интенсивность износа шин”, определяемая отношением изменения глубины протектора за значительный интервал пробега (более 5 тыс. км)

$$J_{ш} = \frac{h_i - h_{i+1}}{L_{i+1} - L_i}, \text{ [мм/1000 км]}. \quad (2.2)$$

где h_i, h_{i+1} – остаточная глубина рисунка протектора соответственно при i и $i+1$ измерениях;

L_i, L_{i+1} – пробег автомобиля соответственно при i и $i+1$ измерениях остаточной глубины рисунка протектора.

Соответственно по оценке интенсивности износа и его характеру можно судить о наличии или отсутствии действующих на процесс износа факторов. Если $J_{ш}$ будет превышать установленные пределы износа, то это будет свидетельствовать о наличии факторов влияющих на износ, которые могут характеризоваться отклонением параметров от оптимального состояния и о

необходимости проведения организационно-технических и других мероприятий.

Таким образом наличие влияющего на износ фактора можно определить двумя способами: прямым и косвенным. Прямым способом можно назвать метод, когда наличие фактора определяется из характера износа шины, подробнее это представлено в таблице 2.1. Косвенный способ – это определение по параметрам, влияющим на износ (например, пониженное давление должно вызвать интенсивный износ плечевой зоны протектора).

Таблица 2.1 – Влияние факторов на характер износа

Фактор	Характер износа
1. Схождение - положительное - отрицательное	Односторонний пилообразный износ: - по наружным дорожкам - по внутренним дорожкам
2. Перекос осей	Односторонний пилообразный износ задних шин по внутренним дорожкам с одной стороны и наружным с другой
3. Неправильное соотношение углов поворота	Интенсивный износ одной самой крайней дорожки
4. Неравенство между собой углов продольного наклона шкворня	Односторонний износ одной шины
5. Давление воздуха в шине - выше нормы - ниже нормы	Интенсивный износ: - центральной части протектора - плечевой зоны протектора
6 Развал	Гладкий односторонний износ
7. Дисбаланс (статический и динамический)	Пятнистый износ
9. Деформация обода (торцевое биение)	Местный износ
10. Перегрузка шин	Интенсивный износ плечевой зоны протектора

Примечательно то, что под неравномерный износ попадают те шины, на которых влияет фактор технического состояния. Остальные факторы, в большей степени, увеличивают равномерный износ всей ширины протектора.

Но как показал анализ из первой главы, характер износа протектора имеет в большей степени износ плечевых зон протектора, что вместе с анализом давления, на котором эксплуатируются шины, говорит о наличии фактора давления. Остальные же факторы из технического состояния имеют слабое влияния, потому что не наблюдается соответствующий им характер износа.

Фактор технического состояния на предприятии достаточно хорошо контролируется (кроме давления), но есть еще факторы, на которые невозможно влиять, но которые необходимо учесть в регрессионной модели для получения более точных результатов. К таким факторам можно отнести дорожные условия эксплуатации и весовая нагрузка. Дорожные условия являются очень значимым фактором и к тому же неуправляемым. Износ шин на разных маршрутах с разными дорожными условиями может различаться в 2 и более раз [56]. Так же и в работе [13] говорится о влиянии поворотов, торможений, разгонов на интенсивность износа шин. Соответственно можно сделать вывод о том, что учет такого фактора, как дорожные условия является обязательным условием, и тут есть два подхода для решения задачи: разработка универсальной регрессионной модели для всех маршрутов, но в таком случае будет необходимо разработать коэффициент, описывающий дорожные условия каждого из маршрутов – коэффициент сложности маршрута; или же разработать множество регрессионных моделей для каждого маршрута в отдельности. Второй способ более простой, особенно когда коэффициента, описывающего сложность маршрута нет или если трудоемкость его расчета слишком высока. Другой фактор – весовая нагрузка, как видно из рисунка 1.6 (первая глава), так же имеет достаточно большое влияние на интенсивность износа шин, причем при перегрузке шины характер износа получается таким же, как и при недостаточном давлении, а в сумме со сложными дорожными условиями это дает еще более значительный износ.

2.2 Интерпретирование модели процесса интенсивности износа шин в виде «черного ящика»

Для описания процесса износа шин целесообразно использовать функциональную модель, имитирующую способы поведения оригинала. Функция, как некоторый стабильный для данной системы способ поведения является одной из важнейших сторон сущности системы. Функциональный

подход характеризуется как бы двойной абстракцией: абстрагированием сначала от вещественного состава системы с вычленением ее внутренней структуры и последующим абстрагированием от последней выделением функциональных связей системы со средой. Сложная математическая система рассматривается как единство трех объективных начал: вещества, структуры внутренних отношений и функциональных связей с окружающей средой. Функциональный подход к системам не исчерпывает полностью существа последних, но позволяет приблизиться к раскрытию их природы.

Обобщенным абстрактным образом функционирования модели, получившим широкое распространение и теоретическую разработку в кибернетике, является «черный ящик» [58]. Под ним понимается система, внутреннее устройство которой не известно наблюдателю, но он может исследовать входы (факторы влияния – X) и выходы (отклик функции – Y) этой системы. Функциональная модель «черного ящика» должна ему соответствовать по входам и выходам, т.е. при тех же входных воздействиях обнаруживать аналогичную с объектом реакцию на входах [58].

Следует отметить, что понятие «не известно наблюдателю» нужно рассматривать хотя бы на двух ступенях. Во-первых, могут исследоваться системы, внутреннее устройство и механизм функционирования которых пока не известны достоверно никому из исследователей. Во-вторых, принцип «черного ящика» можно применять в исследованиях, результатом которых должно быть не объяснение функционирования объектов, а достижение некоторого заданного состояния по X и Y ; последнее как раз характерно для исследованием с ограниченным ресурсом по времени. Такой подход позволяет временно отвлечься от некоторых сложных явлений (например физико-химических), происходящих в исследуемой системе, и значительно ускорить решение ряда практических задач (управления, оптимизации и т.п.) [8].

Таким образом, в среде CASE программы Erwin Process Modeler в нотации IDEF0 была построена контекстная диаграмма первого уровня,

представляющая графическую модель процесса эксплуатации шин (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Процесс эксплуатации шин

Как видно из рисунка 2.1, входом, влияющим на интенсивность износа (выход) являются три фактора: давление, дорожные условия и весовая нагрузка. Нормативные документы и диагностическое оборудование являются управляющими элементами процесса, а технический персонал и технологическое оборудование являются его механизмами. Элементы управления регламентируют и контролируют влияние негативных факторов на интенсивность износа, а механизмы являются средствами для выполнения мероприятий по пресечению этого воздействия. Тут стоит упомянуть тот факт, что наличие управления и механизмов справедливо лишь для управляемых факторов, т.е. для внутреннего давления. Для неуправляемых факторов могут существовать элементы управления (например, максимальная нагрузка на шину, установленная заводом-изготовителем), но воздействовать на них с помощью механизмов невозможно.

2.3 Методика планирования многофакторного эксперимента

Регрессионный анализ приобрел новые возможности после того, как в него были привнесены идеи планирования эксперимента. Планирование эксперимента было предложено Рональдом А. Фишером в тридцатых годах 20 века для решения агробиологических задач [16]. Фишер положил начало новому разделу математической статистики – дисперсионному анализу, позволяющему оценить вклад, вносимый отдельными факторами в суммарную дисперсию. Позднее планирование эксперимента стало применяться в различных отраслях для решения широкого круга задач. Дисперсионный и регрессионный анализы, базирующиеся на планировании эксперимента, переплелись весьма сложным образом, и сейчас весьма трудно провести четкую границу между этими разделами математической статистики.

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для описания процесса математической моделью при минимальном числе опытов и в условиях недостаточного знания механизма изучаемого процесса [11].

Целью планирования эксперимента является определение такой совокупности правил и условий выполнения опытов, которые позволят получить достоверную надежную информацию об исследуемом объекте с минимальными трудозатратами, а также выразить эту информацию в удобной и компактной форме с количественной оценкой точности [21].

В данном случае решено использовать ротатабельное центрально-композиционное планирование второго порядка (РЦКП) с разбиением на ортогональные блоки. Преимущество планов второго порядка, над планами первого очевидно – большая точность аппроксимирующей функции. Так, полином первого порядка дает поверхность отклика, представляющей собой в сечении след в виде прямой линии. Поскольку во многих работах, выполненных ранее в области технической эксплуатации шин, наблюдается

нелинейная зависимость интенсивности износа от внутреннего давления, весовой нагрузки и условий маршрута, полином первого порядка не даст адекватной аппроксимирующей функции, описывающей влияние факторов на ее отклик.

РЦКП было предложено в 1957 году Боксом и Хантером, как решение недостатков ортогонального центрально-композиционного планирования (ОЦКП), предложенного ими же ранее. Недостатками ОЦКП были: различные дисперсии коэффициентов регрессии и получение неодинаковой информации о коэффициентах модели; при повороте осей координат дисперсия предсказанного значения функции отклика менялась по весьма сложному закону, что затрудняло оценку о качестве получаемой модели [16].

Бокс и Хантер предложили считать оптимальным планированием второго порядка ротатабельное планирование, позволяющее получать симметричные информационные контуры. Такой критерий хорошо согласуется с теми интуитивными представлениями планирования, которые имеются у исследователя. Исследователю представляется естественным стремиться, прежде всего, к тому, чтобы информация, содержащаяся в уравнении регрессии, была равномерно “размазана” по сферам [34, 66].

Позднее, исследование Дрейпера и Бокса [34, 66] показало, что ротатабельные планы являются оптимальными и в более широком смысле: к ним приходится обращаться и тогда, когда надо минимизировать систематические ошибки, связанные с неадекватностью представления результатов исследования полиномами второго порядка.

Для планов РЦКП так же как и для ОЦКП к линейному ядру модулей на двух уровнях пристраиваются по две звездные точки на фактор. Однако звездные плечи в РЦКП имеют большие значения, чем для планов ОЦКП. Кроме того, чтобы увеличить количество информации РЦКП предусматривает большое число точек в центре плана (нулевые точки) и, этим самым, обеспечивается в пределах факторного пространства незначительное изменение

дисперсии предсказанного значения функции отклика от расстояния центра плана. Такое планирование называется униформ-планированием [34].

Например, для того, чтобы получить регрессионную модель процесса интенсивности износа шин в зависимости от двух факторов, необходимо провести всего 8 экспериментов и 4 эксперимента в нулевых точках. Это существенно облегчает трудовые затраты на исследование. Однако сбор результатов эксперимента проводится в определенных точках сочетания факторов, и ,при пассивном эксперименте, определенное сочетание факторов можно ждать достаточно долго, чего нельзя сказать об активном эксперименте.

В общем, построение многофакторной модели сводится к нескольким этапам (рисунок 2.2).

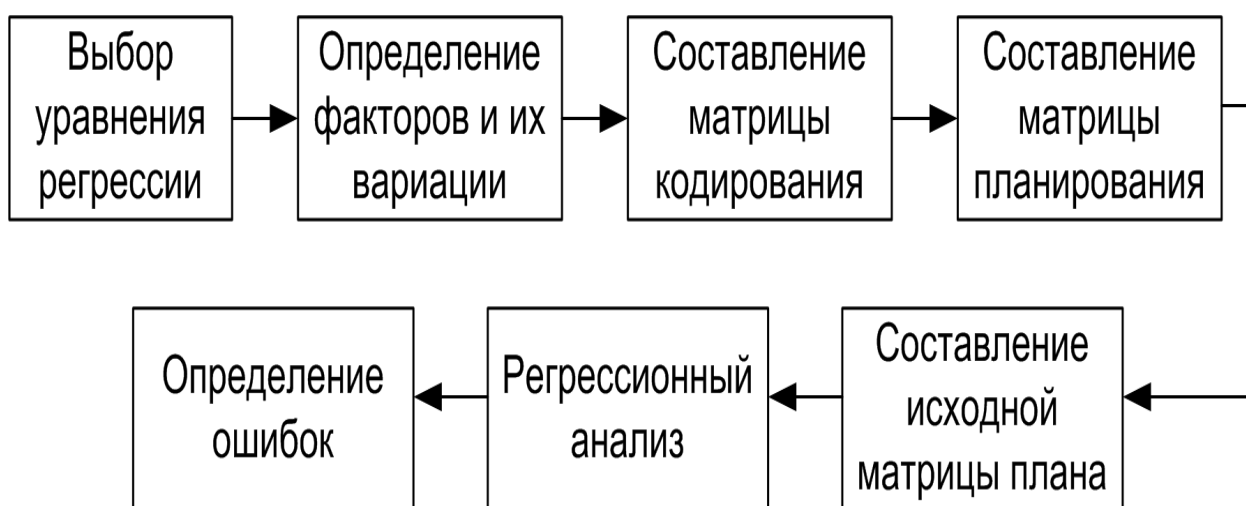


Рисунок 2.2 – Этапы разработки многофакторной регрессионной модели

Далее будет подробно рассмотрен каждый этап разработки многофакторной регрессионной модели с использованием теории многофакторного эксперимента.

2.4 Выбор уравнения регрессии

На первом этапе выбирается уравнение регрессии. Оно задается экспериментатором априорно. Тут стоит учитывать, что модель, кроме факторов и показателей, может иметь степени и сочетания этих факторов – это своего рода уточнения, дающие более подробную поверхность отклика и, как следствие, более полное представление о влиянии факторах на интенсивность износа протектора шин.

На математическом языке задача формулируется следующим образом: нужно получить некоторое представление о функции отклика

$$Y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.3)$$

где Y – параметр процесса, подлежащий оптимизации (функция отклика), x_n – независимые переменные, которые можно варьировать при постановке экспериментов.

Результирующим итогом модели является геометрический образ, соответствующий функции отклика, который называется поверхностью отклика [16]. Эта поверхность может иметь различный вид в зависимости от выбранной модели, наиболее точно описывающей процесс, например поверхность отклика при линейной модели поверхность будет представлять собой ровную плоскость, а при квадратичной модели будет выглядеть в виде седла или чаши.

Если модель необходима для описания поведения системы (но не для объяснения механизма явлений), и у исследователя нет гипотез, основанных на фундаментальных законах природы, то он может удовлетвориться гипотезой, выбранной из принципа простоты, а именно взять в качестве аппроксимирующей функции полином, степенной ряд, ряд Фурье, тригонометрический многочлен и т.п. Во многих источниках описание поведения системы сводится к представлению модели в виде полинома степени

n [8, 16, 34]. К тому же при РЦКП предусмотрено применение полинома второго порядка

Соответственно уравнение для k факторов будет иметь вид

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots + \varepsilon, \quad (2.4)$$

где b_0 – свободный член, b_i – линейные эффекты, b_{ij} – эффекты парного взаимодействия, b_{ii} – квадратичные эффекты, x_i, x_j, x_i^2 – факторы, ε – слагаемое, которое отражает влияние случайных факторов в системе, а так же последствия расчета оценок коэффициентов модели по экспериментальным данным.

Коэффициенты регрессии эквивалентны частным производным ряда Тейлора

$$b_i = \frac{\partial \varphi}{\partial x_i}; \quad (2.5)$$

$$b_{ij} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i \partial x_j}; \quad (2.6)$$

$$b_{ii} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i^2}. \quad (2.7)$$

По экспериментальным данным можно рассчитать статистические оценки коэффициентов регрессии и получить модель для расчетного значения выхода.

Как уже говорилось ранее, целесообразнее разработать ряд регрессионных двухфакторных моделей для каждого маршрута в отдельности, чем разрабатывать универсальную трехфакторную модель, оценивающую каждый маршрут. В таком случае регрессионная модель примет вид

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2. \quad (2.8)$$

2.5 Построение матрицы планирования эксперимента

Матрица планирования эксперимента составляется в зависимости от количества рассматриваемых факторов в регрессионной модели и типа плана. Матрица планирования эксперимента представляет собой матрицу уровней варьирования факторов, чередуемых определенным образом для учета сочетаний вариаций факторов и соответствующего им значения статистического отклика. Матрица планирования эксперимента нужна для определения точек сбора статистической информации об объекте (снятие значения отклика) при определенном сочетании факторов и при наименьшем числе экспериментов. Для двухфакторной модели матрица планирования эксперимента будет выглядеть следующим образом.

Таблица 2.2 – Матрица планирования эксперимента

Обозначения	№ Эксперимента	x_0	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	x_1x_2
Ядро плана	1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
	2	+1	+1	-1	+1	+1	-1
	3	+1	-1	+1	+1	+1	-1
	4	+1	+1	+1	+1	+1	+1
Звездные точки	5	+1	$-\alpha$	0	$+\alpha^2$	0	0
	6	+1	$+\alpha$	0	$+\alpha^2$	0	0
	7	+1	0	$-\alpha$	0	$+\alpha^2$	0
	8	+1	0	$+\alpha$	0	$+\alpha^2$	0
Центральные (нулевые) точки плана	9	+1	0	0	0	0	0
	10	+1	0	0	0	0	0
	11	+1	0	0	0	0	0
	12	+1	0	0	0	0	0

В матрице планирования эксперимента составляются два векторных столбца x_1 и x_2 , а остальные векторные столбцы (кроме x_0), определяются перемножением или возведением в квадрат векторных столбцов x_1 и x_2 .

Ядро плана составляется поочередным чередованием двух уровней варьирования факторов (в данном случае -1 и +1), а количество точек определяется количеством факторов формулой

$$N = 2^k, \quad (2.9)$$

где k – количество исследуемых факторов.

Звездные точки – это точки плана второго порядка, лежащие на координатной оси в факторном пространстве. Звездные точки представляют собой экстремумы вариации абсолютных значений факторов. И значение их уровня определяется следующим образом

$$\alpha = \sqrt{k}, \quad (2.10)$$

где k – количество факторов в модели.

Звездных точек в плане по две на один фактор ($-\alpha$ и $+\alpha$).

Центральные (нулевые) точки – это точки, лежащие в центре плана. Они являются признаком ортогональности плана. Центральные точек – четыре. Эти точки нужны для выполнения свойства ортогональности и правильного расчета коэффициентов модели.

В РЦКП, как и в ОЦКП, значение каждого фактора фиксируется, в общем случае, на пяти уровнях варьирования ($-\alpha$; -1 ; 0 ; $+1$; $+\alpha$). Где $-\alpha$ – минимальный уровень варьирования фактора, $+\alpha$ – максимальный уровень варьирования, 0 – средний уровень варьирования, а -1 и $+1$ – промежуточные точки.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1 Оценка точности метода измерения интенсивности износа шин

Согласно [6], общепринятый доверительный интервал при оценке надежности средств автоматики, электроники и измерительной техники принимается равной $P_d = 0,8$. Соответственно, 8 замеров удовлетворяют требуемой точности доверительного интервала.

$$P_d = \frac{n-1}{n+1} = \frac{8-1}{8+1} \approx 0,8. \quad (3.1)$$

Для проверки точности измерений, был взят ряд распределений случайной величины остаточной глубины протектора одной шины, который соответствует нормальному закону распределения и, после чего, были определены основные статистические характеристики: математическое ожидание $h_{cp} = 8,12$; среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,122$; дисперсия $D = 0,015$.

Математическое ожидание h_{cp} есть истинное значение высоты протектора. Тогда определим доверительный интервал для математического ожидания с доверительной вероятностью $\gamma = 0,95$, это и будет являться абсолютной погрешностью измерений Δ . Соответственно критерий Стьюдента для $\gamma = 0,95$ и $n = 8$ будет равен $t_\gamma = 2,306$. Тогда абсолютная погрешность измерений Δ будет равна

$$\Delta = t_\gamma \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,306 \cdot \frac{0,122}{2,89} = 0,0993. \quad (3.2)$$

Определим доверительные верхнюю и нижнюю границы измерения остаточной глубины протектора

$$h_B = h_{cp} + \Delta = 8,12 + 0,0993 = 8,222; \quad (3.3)$$

$$h_H = h_{cp} - \Delta = 8,12 - 0,0993 = 8,023. \quad (3.4)$$

Относительная погрешность измерения остаточной глубины протектора будет равна

$$\delta_o = \pm \frac{\Delta}{h_{cp}} \cdot 100 = \frac{0,0993}{8,12} \cdot 100 = 1,22\%. \quad (3.5)$$

При определении интенсивности износа необходимо определить не глубину протектора, а разность между предшествующими и текущими изменениями остаточной глубины протектора. Поэтому замеры проводились перед выездом автобуса на маршрут, а так же после возвращения с маршрута, и впоследствии, находилась разность, выраженная в мм/1000км, что и является интенсивностью износа.

В работе [22] сказано, что относительная погрешность оценки интенсивности износа шин будет зависеть от периодичности измерений глубины протектора. Учитывая, что протяженность маршрутов может отличаться в 3 раза, относительная погрешность для каждого маршрута в отдельности будет различаться.

Соответственно относительная погрешность оценки интенсивности износа в зависимости от протяженности маршрута можно найти по формуле [22]:

$$\delta_m = \pm \frac{\Delta}{J_{cp} \cdot L} \cdot 100, \quad (3.5)$$

где J_{cp} – средняя интенсивность износа, L – протяженность маршрута за оборот (прямой и обратный рейсы) с учетом нулевого пробега

$$L = 2L_M + 2L_0, \quad (3.6)$$

где L_M – длина n -го маршрута; L_0 – нулевой пробег, $L_0 = 7$ км.

Относительная погрешность с учетом протяженности каждого маршрута, рассчитанная по формуле 3.5, сведена в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Относительная погрешность измерений с учетом протяженности каждого маршрута

№ П/П	Номер маршрута	Маршрут	Длина маршрута, км	Средняя интенсивность износа, мм/1000 км	Относительная погрешность, %
1	506	Красноярск – Ужур	337	0,79	11,4
2	574	Красноярск – Шарыпово	349	0,75	10,82
3	519	Красноярск – Енисейск	347	0,84	12,12
4	644	Красноярск – Кемерово	579	0,89	12,84
5	700	Красноярск – Новокузнецк	826	0,85	12,26
6	740	Красноярск – Барнаул	1012	0,97	13,99
7	791	Красноярск – Кызыл	851	1,4	20,20

Найденные относительные погрешности (таблица 3.1) укладывается в предельные значения погрешностей объектов, требующих экономически оптимального качества и уровня надежности (не более 31%) [32, 43].

3.2 Проведение эксперимента

Для того, чтобы представить исходную матрицу эксперимента, необходимо определить вариацию факторов закодировать переменные. Для удобства составляется матрица кодирования переменных (Таблица 3.2), в

которой так же представлены уровни варьирования факторов и соответствующие им абсолютные значения.

Таблица 3.2 – Матрица кодирования переменных

Переменные факторы	Обозначения		Уровни варьирования факторов				
	общие	кодируемые	-1,414	-1	0	+1	+1,414
Давление, Бар	P	x_1	7,4	7,517	7,8	8,083	8,2
Весовая нагрузка, кг	M	x_2	203	233,2	306	378,8	409

Как видно из таблицы 3.1, вариация давления находится в пределах от 7,4 до 8,2 бар. А весовая нагрузка от 203 до 409 кг. В данном случае определялась не минимально или максимально возможное значение фактора, которое он может принять, а значение, которое принимал фактор в ходе эксперимента.

Весовая нагрузка определялась исходя из отчетных билетных ведомостей, из которых определялось среднее количество человек, находящихся в автобусе на перегоне

$$Q = \frac{1}{n} \sum q_i, \quad (3.6)$$

где n – количество участков перегона на маршруте (или количество участков между остановками в населенных пунктах); q_i – количество перевезенных пассажиров за оборот.

Поскольку задняя ось имеет спаренные колеса, а так же распределение масс между передней и задней осью не одинаково, необходимо определить весовую нагрузку на каждое колесо в килограммах (без учета массы автобуса)

$$M_{II} = \frac{m \cdot Q \cdot \gamma_{II}}{2}, \quad (3.7)$$

$$M_3 = \frac{m \cdot Q \cdot \gamma_3}{4}, \quad (3.8)$$

где M_{II} и M_3 – весовая нагрузка на переднее и заднее колесо соответственно; γ_{II} и γ_3 – коэффициент распределения нагрузки между передней и задней осью автобуса соответственно, $\gamma_{II} = 0,36$, $\gamma_3 = 0,64$.

Соответственно минимальное значение вариации фактора весовой нагрузки в 203 кг соответствует 17 пассажирам в среднем находящимся на перегоне.

Как видно из таблицы 3.1, минимальному значению уровня варьирования (-1,414) присваивается начальное значения диапазона соответствующего фактора, максимальному (+1,414) – максимальное значение диапазона. Промежуточные значения (-1; 0; +1) определяются методом линейной интерполяции.

После чего, используя матрицу планирования эксперимента (таблица 2.2) и матрицу кодирования переменных (таблица 3.2) составляется исходная матрица эксперимента. В таблицах 3.3 – 3.9 представлены исходные матрицы эксперимента для рассматриваемых маршрутов.

Таблица 3.3 – Исходная матрица эксперимента для маршрута Красноярск – Кызыл

№ Опыта	Теоретические значения		Фактические значения		Интенсивность износа, мм/1000 км
	x_1	x_2	x_1	x_2	
1	7,5	233,2	7,4	232	1,280
2	8,1	233,2	8,1	227	1,227
3	7,5	378,8	7,4	358	1,331
4	8,1	378,8	8,1	358	1,302
5	7,4	306,0	7,4	286	1,479
6	8,2	306,0	8,2	298	1,102
7	7,8	203,0	7,7	203	1,020
8	7,8	409,0	7,8	395	1,445
9	7,8	306,0	7,8	298	1,171
10	7,8	306,0	7,8	298	1,172
11	7,8	306,0	7,8	298	1,312
12	7,8	306,0	7,8	298	1,334

Таблица 3.4 – Исходная матрица эксперимента для маршрута Красноярск – Ужур

№ Опыта	Теоретические значения		Фактические значения		Интенсивность износа, мм/1000 км
	x_1	x_2	x_1	x_2	
1	7,5	233,2	7,5	232	0,843
2	8,1	233,2	8	232	0,815
3	7,5	378,8	7,6	395	0,907
4	8,1	378,8	8	395	0,888
5	7,4	306,0	7,4	310	0,927
6	8,2	306,0	8,2	310	0,656
7	7,8	203,0	7,8	203	0,536
8	7,8	409,0	8,1	409	0,827
9	7,8	306,0	7,8	310	0,843
10	7,8	306,0	7,8	310	0,699
11	7,8	306,0	7,8	310	0,763
12	7,8	306,0	7,8	310	0,840

Таблица 3.5 – Исходная матрица эксперимента для маршрута Красноярск – Шарыпово

№ Опыта	Теоретические значения		Фактические значения		Интенсивность износа, мм/1000 км
	x_1	x_2	x_1	x_2	
1	7,5	233,2	7,5	232	1,022
2	8,1	233,2	8,1	232	0,872
3	7,5	378,8	7,9	368	1,041
4	8,1	378,8	8,2	382	0,958
5	7,4	306,0	7,4	298	1,115
6	8,2	306,0	8,2	298	0,987
7	7,8	203,0	7,8	203	0,893
8	7,8	409,0	8,1	409	1,117
9	7,8	306,0	7,8	314	0,861
10	7,8	306,0	7,8	314	0,934
11	7,8	306,0	7,8	314	1,178
12	7,8	306,0	7,8	314	1,140

Таблица 3.6 – Исходная матрица эксперимента для маршрута Красноярск – Енисейск

№ Опыта	Теоретические значения		Фактические значения		Интенсивность износа, мм/1000 км
	x_1	x_2	x_1	x_2	
1	7,5	233,2	7,6	245	0,980
2	8,1	233,2	8,1	239	0,861
3	7,5	378,8	7,6	358	0,942
4	8,1	378,8	8	358	0,888
5	7,4	306,0	7,4	298	1,014
6	8,2	306,0	8,2	298	0,695
7	7,8	203,0	7,8	215	0,587
8	7,8	409,0	8	409	0,962
9	7,8	306,0	7,8	298	0,770
10	7,8	306,0	7,8	298	0,803
11	7,8	306,0	7,8	298	0,914
12	7,8	306,0	7,8	298	0,879

Таблица 3.7 – Исходная матрица эксперимента для маршрута Красноярск – Кемерово

№ Опыта	Теоретические значения		Фактические значения		Интенсивность износа, мм/1000 км
	x_1	x_2	x_1	x_2	
1	7,5	233,2	7,5	232	0,957
2	8,1	233,2	8,1	232	0,917
3	7,5	378,8	7,5	382	0,988
4	8,1	378,8	8,1	382	0,948
5	7,4	306,0	7,4	310	1,008
6	8,2	306,0	8,2	310	0,924
7	7,8	203,0	7,9	203	0,897
8	7,8	409,0	7,8	409	0,967
9	7,8	306,0	7,4	310	0,965
10	7,8	306,0	7,4	310	0,963
11	7,8	306,0	7,4	310	0,914
12	7,8	306,0	7,4	310	0,938

Таблица 3.8– Исходная матрица эксперимента для маршрута Красноярск – Новокузнецк

№ Опыта	Теоретические значения		Фактические значения		Интенсивность износа, мм/1000 км
	x_1	x_2	x_1	x_2	
1	7,5	233,2	7,6	259	0,930
2	8,1	233,2	8	259	0,875
3	7,5	378,8	7,5	382	0,995
4	8,1	378,8	8	368	0,935
5	7,4	306,0	7,4	298	0,886
6	8,2	306,0	8,1	298	0,616
7	7,8	203,0	7,9	203	0,541
8	7,8	409,0	7,8	409	0,768
9	7,8	306,0	7,8	310	0,749
10	7,8	306,0	7,8	310	0,835
11	7,8	306,0	7,8	310	0,791
12	7,8	306,0	7,8	310	0,878

Таблица 3.9– Исходная матрица эксперимента для маршрута Красноярск – Барнаул

№ Опыта	Теоретические значения		Фактические значения		Интенсивность износа, мм/1000 км
	x_1	x_2	x_1	x_2	
1	7,5	233,2	7,6	259	0,847
2	8,1	233,2	8	259	0,807
3	7,5	378,8	7,5	382	0,910
4	8,1	378,8	8	368	0,924
5	7,4	306,0	7,4	298	0,963
6	8,2	306,0	8,1	298	0,734
7	7,8	203,0	7,9	203	0,670
8	7,8	409,0	7,8	409	0,941
9	7,8	306,0	7,8	310	0,784
10	7,8	306,0	7,8	310	0,790
11	7,8	306,0	7,8	310	0,906
12	7,8	306,0	7,8	310	0,840

Интенсивность износа шин определялась по формуле 2.1.

Стоит заметить, что в данном случае (как видно из таблиц 3.3 – 3.9) теоретические значения будут одинаковы для всех исследуемых маршрутов, а фактические данные выбираются из наиболее ближайших к теоретическим

значениям сочетаний факторов. Такая ситуация наблюдается из-за того, что эксперимент имеет пассивный характер, но на результаты это не даст существенного влияния.

3.3 Множественный регрессионный анализ результатов

Следующим этапом будет обработка экспериментальных данных (регрессионный анализ). Подробная методика регрессионного анализа результатов эксперимента изложена в источниках [34, 38].

Вначале производится подсчет коэффициентов сумм. Принцип расчета коэффициентов заключается в последовательном сложении значений отклика из исходной матрицы эксперимента (таблица 3.3) с использованием знаков и уровней варьирования из матрицы планирования эксперимента (таблица 2.2).

Для свободного члена все знаки в матрице планирования эксперимента имеют положительный знак, а уровень варьирования равен единице. Поэтому, получится выражение из сумм значений отклика, где каждое значение отклика будет иметь коэффициент равный единице

$$(OY) = \sum_{i=1}^N Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} + Y_{11} + Y_{12}. \quad (3.9)$$

где Y_i – значение отклика i -ой строки.

Аналогичным методом рассчитываются коэффициенты сумм для членов первой степени

$$(iY) = \sum_{i=1}^N x_i \cdot Y_i, \quad (3.10)$$

где x_i – соответствующий столбцу (таблица 2.2) фактор.

Коэффициент суммы для линейного фактора внутреннего давления (x_1)

$$\sum_{i=1}^N x_1 \cdot Y_i = -Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4 - \alpha Y_5 + \alpha Y_6. \quad (3.11)$$

Коэффициент суммы для линейного фактора весовой нагрузки (x_2)

$$\sum_{i=1}^N x_1 \cdot Y_i = -Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4 - \alpha Y_7 + \alpha Y_8. \quad (3.12)$$

Коэффициенты сумм для членов второй степени

$$(iiY) = \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot Y_i. \quad 3.13$$

Коэффициент суммы для члена второй степени фактора внутреннего давления (x_1^2)

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + \alpha^2 Y_5 + \alpha^2 Y_6. \quad (3.14)$$

Коэффициент суммы для члена второй степени фактора весовой нагрузки (x_2^2)

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + \alpha^2 Y_7 + \alpha^2 Y_8. \quad (3.15)$$

Коэффициенты сумм для парного сочетания факторов

$$(ijY) = \sum_{i=1}^N x_i \cdot x_j \cdot Y_i = Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4. \quad (3.16)$$

Определим коэффициенты регрессии $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$

$$b_0 = \frac{A}{N} \cdot \left[2 \cdot \lambda_U^2 \cdot (k+2) \cdot (OY) - 2 \cdot \lambda_U \cdot C \cdot \sum_{i=1}^K (iiY) \right]; \quad (3.17)$$

$$b_i = \frac{C}{N} \cdot (iY); \quad (3.18)$$

$$b_{ii} = \frac{A}{N} \cdot \left[C^2 \cdot ((k+2) \cdot \lambda_U - k) \cdot (iiY) + C^2 \cdot (1 - \lambda_U) \cdot \sum_{i=1}^k (iiY) - 2 \cdot \lambda_U \cdot C \cdot (OY) \right]; \quad (3.19)$$

$$b_{ij} = \frac{C^2}{N \cdot \lambda_U} \cdot (ijY), \quad (3.20)$$

где $k = 2$ – количество переменных (факторов); $N = 12$ – количество экспериментов; $n_0 = 4$ – количество нулевых точек; $n_n = 8$ – количество периферийных точек; $(OY), (iY), (iiY), (ijY)$ – коэффициенты сумм; C, λ_U, A – коэффициенты, определяемые по формулам

$$C = \frac{N}{\sum_{i=1}^N x_i^2} = \frac{12}{1+1+1+1+1,999396+1,999396+0+0+0+0+0+0} = 1,5. \quad (3.21)$$

$$\lambda_U = \frac{k \cdot (n_0 + n_n)}{(k+2) \cdot n_n} = \frac{2 \cdot (4+8)}{(2+2) \cdot 8} = 0,75. \quad (3.22)$$

$$A = \frac{1}{2 \cdot \lambda_U \cdot [(k+2) \cdot \lambda_U - k]} = \frac{1}{2 \cdot 0,75 \cdot [(2+2) \cdot 0,75 - 2]} = 0,67. \quad (3.23)$$

Коэффициенты C , λ_U и A не зависят от экспериментальных данных, а зависят полностью от характеристик плана эксперимента, поэтому значения этих коэффициентов для модели каждого маршрута будут одинаковы.

Результаты расчетов коэффициентов регрессии для каждой модели маршрута представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результат вычислений коэффициентов регрессии

Маршрут	b_0	b_1	b_2	b_1^2	b_2^2	b_1b_2
Красноярск – Ужур	0,786	-0,054	0,068	0,034	-0,021	0,002
Красноярск – Шарыпово	1,028	-0,052	0,052	-0,002	-0,025	0,017
Красноярск – Енисейск	0,842	-0,078	0,065	0,032	-0,008	0,016
Красноярск – Кемерово	0,945	-0,025	0,020	0,011	-0,006	0,000
Красноярск – Новокузнецк	0,806	-0,062	0,056	0,030	-0,018	-0,002
Красноярск – Барнаул	0,830	-0,044	0,070	0,021	-0,001	0,014
Красноярск – Кызыл	1,248	-0,077	0,091	0,027	-0,002	0,006

По данным коэффициентов регрессии, представленных в таблице 3.10, уже представляется возможным построить регрессионные модели для каждого из представленных маршрутов, но перед этим необходимо оценить точность и адекватность полученных данных.

3.4 Оценка адекватности моделей

Подробная методика оценки адекватности моделей представлена в [34, 38]. Поскольку число степеней свободы у каждого уравнения будет одинаковым, определим его сразу.

Определяются ошибки регрессионного анализа, связанные с коэффициентами.

Находится сумма квадратов результатов наблюдений

$$(Y Y) = \sum_{i=1}^N Y_i^2. \quad (3.24)$$

Находится сумма квадратов, связанная со свободным членом (корректирующий фактор)

$$S_0 = \frac{(OY)^2}{N}, \quad f_0 = 1. \quad (3.25)$$

где f_0 – число степеней свободы.

Сумма квадратов, связанная с членами первой степени, определяется независимо от свободного члена

$$S_{1.0} = \sum_{i=1}^k b_i (iY), \quad f_{1.0} = k = 2. \quad (3.26)$$

Сумма квадратов, связанная с членами второй степени, будет найдена после вычитания корректирующего фактора из сумм квадратов для членов нулевого и первого порядков

$$\left. \begin{aligned} S_{2.1.0} &= b_0 \cdot (OY) + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot (iiY) + \sum_{i=1}^k b_{ij} \cdot (ijY) - \frac{(OY)^2}{N}, \\ f_{2.1.0} &= \frac{k \cdot (k+1)}{2} = \frac{2 \cdot (2+1)}{2} = 3. \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

Теперь останется только разделить суммы квадратов на соответствующие им степени свободы и получить дисперсии.

Дисперсия, связанная с членами первой степени

$$S_{1.0}^2 = \frac{S_{1.0}}{f_{1.0}}. \quad (3.28)$$

Дисперсия, связанная с членами второй степени

$$S_{2.1.0}^2 = \frac{S_{2.1.0}}{f_{2.1.0}}. \quad (3.29)$$

Таблица 3.11 – Ошибки регрессионного анализа, связанные с коэффициентами регрессии

Маршрут	Показатели	Y	x_0	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	$x_1 \cdot x_2$
Красноярск – Ужур	сумма квадратов (S)	7,7357	7,5923	0,0607		0,0126		
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0304		0,0042		
Красноярск – Шарыпово	сумма квадратов (S)	12,3727	12,2400	0,0434		0,0053		
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0217		0,0018		
Красноярск – Енисейск	сумма квадратов (S)	9,0070	8,8346	0,0825		0,0091		
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0413		0,0030		
Красноярск – Кемерово	сумма квадратов (S)	10,8143	10,8028	0,0081		0,0013		
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0041		0,0004		
Красноярск – Новокузнецк	сумма квадратов (S)	8,1559	7,9575	0,0556		0,0097		
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0278		0,0032		
Красноярск – Барнаул	сумма квадратов (S)	8,6162	8,5275	0,0551		0,0036		
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0276		0,0012		
Красноярск – Кызыл	сумма квадратов (S)	19,3888	19,1926	0,1133		0,0053		
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0567		0,0018		

Определяются ошибки, характеризующие точность проведенного эксперимента.

Сумма квадратов, связанная с коэффициентом регрессии

$$\left. \begin{aligned} S_{0.1.2} &= S_0 + S_{1.0} + S_{2.1.0}, \\ f_{0.1.2} &= \frac{(k+2)(k+1)}{2} = \frac{(2+2)(2+1)}{2} = 6. \end{aligned} \right\} \quad (3.30)$$

Остаточная сумма квадратов

$$\left. \begin{aligned} S_R &= (YU) - S_{0,1,2}, \\ f_R &= N - \frac{(k+2)(k+1)}{2} = 12 - \frac{(2+2)(2+1)}{2} = 6 \end{aligned} \right\} \quad (3.31)$$

Пользуясь экспериментами в центре плана (нулевыми точками), можно найти сумму квадратов, связанную с дисперсией, характеризующую ошибку опыта

$$\left. \begin{aligned} S_E &= \sum_{i=9}^{12} (Y_i - b_0)^2 = (Y_9 - b_0)^2 + (Y_{10} - b_0)^2 + (Y_{11} - b_0)^2 + (Y_{12} - b_0)^2, \\ f_E &= n_0 - 1 = 4 - 1 = 3. \end{aligned} \right\} \quad (3.32)$$

Была найдена сумма квадратов, связанная с дисперсией, определяющей неадекватность представления результатов эксперимента

$$\left. \begin{aligned} S_{LF} &= S_R - S_E, \\ f_{LF} &= N - \frac{(k+2)(k+1)}{2} - (n_0 - 1) = 12 - \frac{(2+2)(2+1)}{2} - (4 - 1) = 3. \end{aligned} \right\} \quad (3.33)$$

Дисперсия, характеризующая неадекватность моделей

$$S_{LF}^2 = \frac{S_{LF}}{f_{LF}}. \quad (3.34)$$

Дисперсия, характеризующая ошибку опыта

$$\sigma^2(Y) = S_E^2 = \frac{S_E}{f_E}. \quad (3.35)$$

Таблица 3.12 – Ошибки регрессионного анализа, характеризующие точность экспериментов

Маршрут	Показатели	Дисперсии			
		связанные с коэффициентом регрессии	остаточные	характеризующие ошибку	характеризующие неадекватность
Красноярск – Ужур	сумма квадратов (S)	7,6656	0,0701	0,0143	0,0559
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0048	0,0186
Красноярск – Шарыпово	сумма квадратов (S)	12,2887	0,0840	0,0720	0,0120
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0240	0,0040
Красноярск – Енисейск	сумма квадратов (S)	8,9261	0,0809	0,0133	0,0676
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0044	0,0225
Красноярск – Кемерово	сумма квадратов (S)	10,8122	0,0021	0,0018	0,0004
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0006	0,0001
Красноярск – Новокузнецк	сумма квадратов (S)	8,0228	0,1331	0,0131	0,1200
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0044	0,0400
Красноярск – Барнаул	сумма квадратов (S)	8,5862	0,0300	0,0096	0,0204
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0032	0,0068
Красноярск – Кызыл	сумма квадратов (S)	19,3111	0,0777	0,0231	0,0546
	дисперсия (S^2)	-	-	0,0077	0,0182

Для проверки интересующих нуль-гипотез, необходимо найти F -отношение:

F -отношение для оценки значимости линейных членов

$$F_1 = \frac{S_{1.0}^2}{S_E^2}. \quad (3.36)$$

F -отношение для оценки значимости членов второй степени

$$F_2 = \frac{S_{2.1.0}^2}{S_E^2}. \quad (3.37)$$

F -отношение для проверки неадекватности

$$F_3 = \frac{S_{LF}^2}{S_E^2}. \quad (3.38)$$

Сравнивая значения расчетных значений критериев Фишера с табличными значениями (при уровне значимости $\alpha = 0,05$ для числа степеней свободы в числителе и знаменателе), необходимо выполнить условие $F_{РАСЧ} < F_{ТАБЛ}$.

Таблица 3.13 – Проверка значимости членов и адекватности модели по критерию Фишера

Маршрут	Параметры	Критерий Фишера	
		расчетный	табличный
Красноярск – Ужур	оценка значимости линейных членов	6,39	9,55
	оценка значимости членов второй степени	0,88	9,28
	проверка неадекватности	3,92	9,28
Красноярск – Шарыпово	оценка значимости линейных членов	0,90	9,55
	оценка значимости членов второй степени	0,07	9,28
	проверка неадекватности	0,17	9,28
Красноярск – Енисейск	оценка значимости линейных членов	9,28	9,55
	оценка значимости членов второй степени	0,68	9,28
	проверка неадекватности	5,06	9,28
Красноярск – Кемерово	оценка значимости линейных членов	6,93	9,55
	оценка значимости членов второй степени	0,71	9,28
	проверка неадекватности	0,22	9,28
Красноярск – Новокузнецк	оценка значимости линейных членов	6,38	9,55
	оценка значимости членов второй степени	0,74	9,28
	проверка неадекватности	9,18	9,28
Красноярск – Барнаул	оценка значимости линейных членов	8,60	9,55
	оценка значимости членов второй степени	0,38	9,28
	проверка неадекватности	2,12	9,28
Красноярск – Кызыл	оценка значимости линейных членов	7,35	9,55
	оценка значимости членов второй степени	0,23	9,28
	проверка неадекватности	2,36	9,28

Производится расчет ошибки при определении коэффициентов регрессии.

Дисперсия для свободного члена

$$\sigma^2(b_0) = \frac{2 \cdot A \cdot \lambda_U^2 \cdot (k+2) \cdot \sigma^2(Y)}{N}. \quad (3.39)$$

Ошибка в определении свободного члена

$$\sigma(b_0) = \sqrt{\sigma^2(b_0)}. \quad (3.40)$$

Дисперсия для линейных членов

$$\sigma^2(b_i) = \frac{C \cdot \sigma(Y)}{N}. \quad (3.41)$$

Ошибка в определении линейных членов

$$\sigma(b_i) = \sqrt{\sigma^2(b_i)} \quad (3.42)$$

Дисперсия для членов второго порядка

$$\sigma^2(b_{ii}) = \frac{A \cdot (\lambda_U^2 \cdot (k+1) - (k-1)) \cdot C^2 \cdot \sigma^2(Y)}{N}. \quad (3.43)$$

Ошибка в определении членов второго порядка

$$\sigma(b_{ii}) = \sqrt{\sigma^2(b_{ii})}. \quad (3.44)$$

Дисперсия для членов парного взаимодействия

$$\sigma^2(b_{ij}) = \frac{C^2 \cdot \sigma^2(Y)}{N}. \quad (3.45)$$

Ошибка в определении членов парного взаимодействия

$$\sigma(b_{ij}) = \sqrt{\sigma^2(b_{ij})}. \quad (3.46)$$

Таблица 3.14 – Ошибки в определении коэффициентов регрессии

Маршрут	Показатели	x_0	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	$x_1 \cdot x_2$
Красноярск – Ужур	дисперсия	0,0012	0,0009	0,0004	0,0009	0,0012	0,0009
	ошибка	0,0345	0,0298	0,0202	0,0298	0,0345	0,0298
Красноярск – Шарыпово	дисперсия	0,0060	0,0045	0,0021	0,0045	0,0060	0,0045
	ошибка	0,0775	0,0671	0,0454	0,0671	0,0775	0,0671
Красноярск – Енисейск	дисперсия	0,0011	0,0008	0,0004	0,0008	0,0011	0,0008
	ошибка	0,0333	0,0289	0,0196	0,0289	0,0333	0,0289
Красноярск – Кемерово	дисперсия	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	ошибка	0,0121	0,0105	0,0071	0,0105	0,0121	0,0105
Красноярск – Новокузнецк	дисперсия	0,0011	0,0008	0,0004	0,0008	0,0011	0,0008
	ошибка	0,0330	0,0286	0,0194	0,0286	0,0330	0,0286
Красноярск – Барнаул	дисперсия	0,0008	0,0006	0,0003	0,0006	0,0008	0,0006
	ошибка	0,0283	0,0245	0,0166	0,0245	0,0283	0,0245
Красноярск – Кызыл	дисперсия	0,0019	0,0014	0,0007	0,0014	0,0019	0,0014
	ошибка	0,0439	0,0380	0,0257	0,0380	0,0439	0,0380

Заключительным этапом является приведение уравнения регрессии к натуральному виду (декартовым координатам). Приведение заключается в подстановке натуральных переменных, с учетом нулевого уровня параметра и интервала варьирования, в уравнение регрессии.

Для этого натуральная переменная выражается через коэффициент x_i по следующей зависимости

$$x_i = \frac{G - x_i(0)}{x_i(1) - x_i(0)}. \quad (3.47)$$

где G – значение натуральной переменной; $x_i(0)$, $x_i(1)$ – значение показателя при уровне варьирования равном 0 и 1 соответственно.

Поскольку уровни варьирования и значения, принимаемые на этих уровнях варьирования факторами, одинаковы, коэффициент x_i каждого фактора будет одинаков для каждой регрессионной модели.

Определим выражение коэффициента x_1 для фактора давления

$$x_1 = \frac{P - 7,8}{8,08 - 7,8} = \frac{P - 7,8}{0,28}. \quad (3.48)$$

где P – натуральное выражение давления, Бар.

Определим выражение коэффициента x_2 для фактора весовой нагрузки

$$x_2 = \frac{M - 306}{379 - 306} = \frac{M - 306}{73}. \quad (3.49)$$

где M – натуральное выражение весовой нагрузки пассажирами (без учета массы автобуса), кг.

Получившееся выражения (формулы 3.40 и 3.41) подставляются в уравнение регрессии, и определяется его нормальный вид.

Уравнение регрессии для маршрута № 506 Красноярск – Ужур

$$J_{506} = 0,786 - 0,054x_1 + 0,068x_2 + 0,034x_1^2 - 0,021x_2^2 + 0,002x_1x_2. \quad (3.50)$$

Уравнение регрессии для маршрута № 574 Красноярск – Шарыпово

$$J_{574} = 1,028 - 0,052x_1 + 0,052x_2 - 0,002x_1^2 - 0,025x_2^2 + 0,017x_1x_2. \quad (3.51)$$

Уравнение регрессии для маршрута № 519 Красноярск – Енисейск

$$J_{519} = 0,842 - 0,078x_1 + 0,065x_2 + 0,032x_1^2 - 0,008x_2^2 + 0,016x_1x_2. \quad (3.52)$$

Уравнение регрессии для маршрута № 644 Красноярск – Кемерово

$$J_{644} = 0,945 - 0,025x_1 + 0,02x_2 + 0,011x_1^2 - 0,006x_2^2. \quad (3.53)$$

Уравнение регрессии для маршрута № 700 Красноярск – Новокузнецк

$$J_{700} = 0,806 - 0,062x_1 + 0,056x_2 + 0,03x_1^2 - 0,018x_2^2 - 0,002x_1x_2. \quad (3.54)$$

Уравнение регрессии для маршрута № 740 Красноярск – Барнаул

$$J_{740} = 0,83 - 0,044x_1 + 0,07x_2 + 0,021x_1^2 - 0,001x_2^2 + 0,014x_1x_2. \quad (3.55)$$

Уравнение регрессии для маршрута № 791 Красноярск – Кызыл

$$J_{791} = 1,248 - 0,077x_1 + 0,091x_2 + 0,027x_1^2 - 0,002x_2^2 - 0,006x_1x_2. \quad (3.56)$$

По данным моделям представляется возможность построить поверхность отклика, которая наглядно покажет интенсивность износа шины в зависимости от давления и весовой нагрузки.

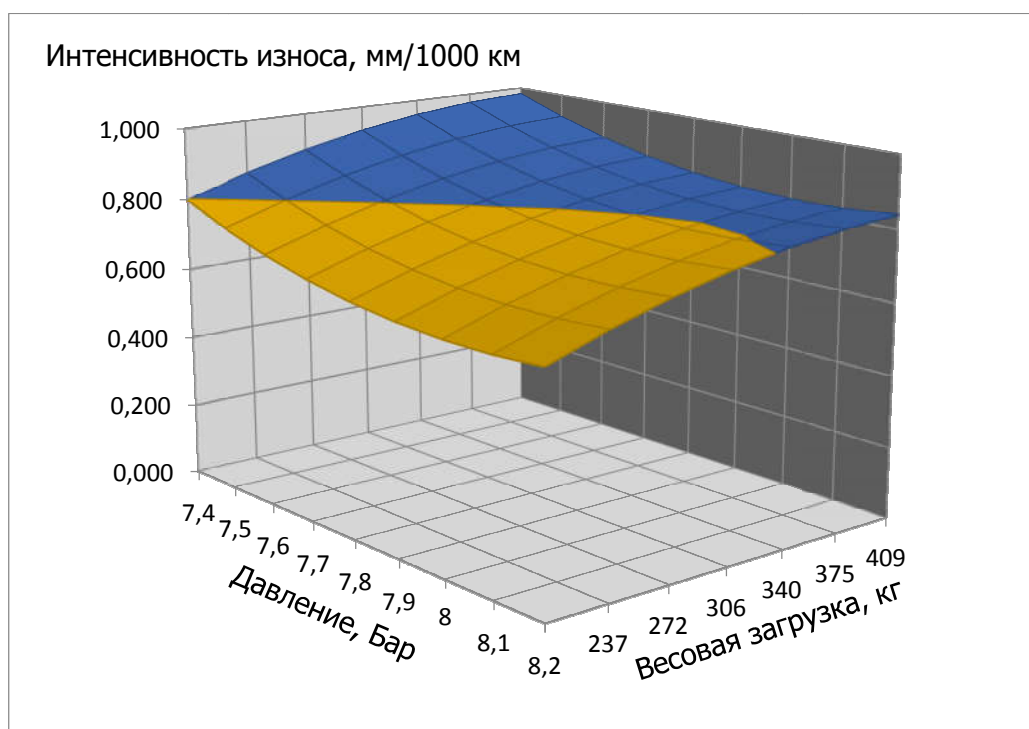


Рисунок 3.2 – Поверхность отклика регрессионной модели для маршрута Красноярск – Ужур

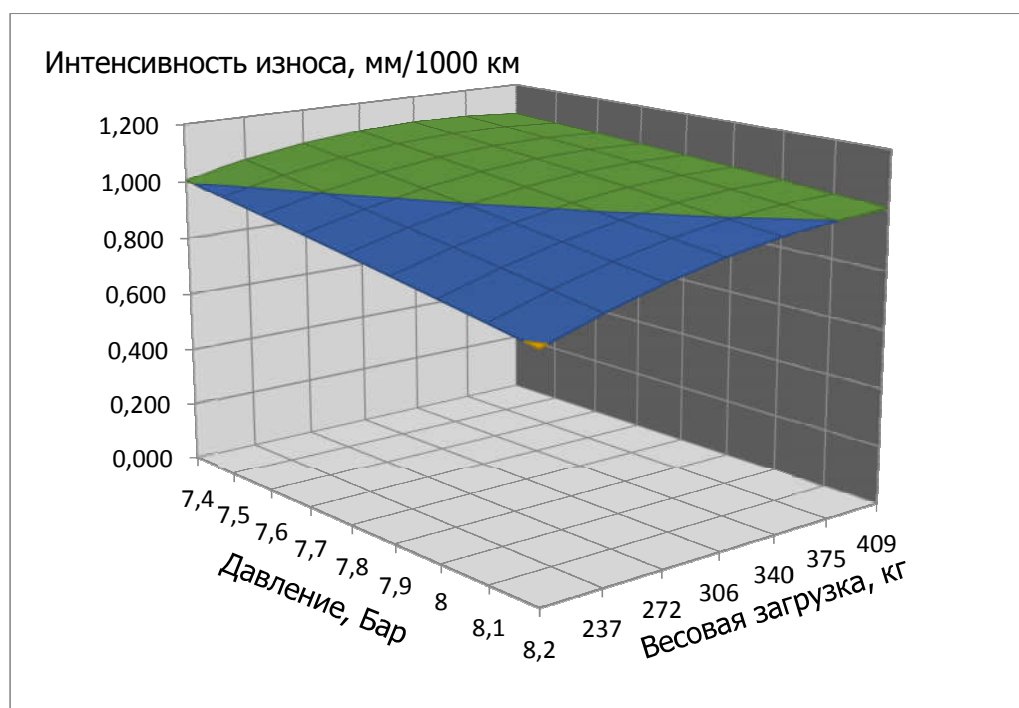


Рисунок 3.3 – Поверхность отклика регрессионной модели для маршрута Красноярск – Шарыпово

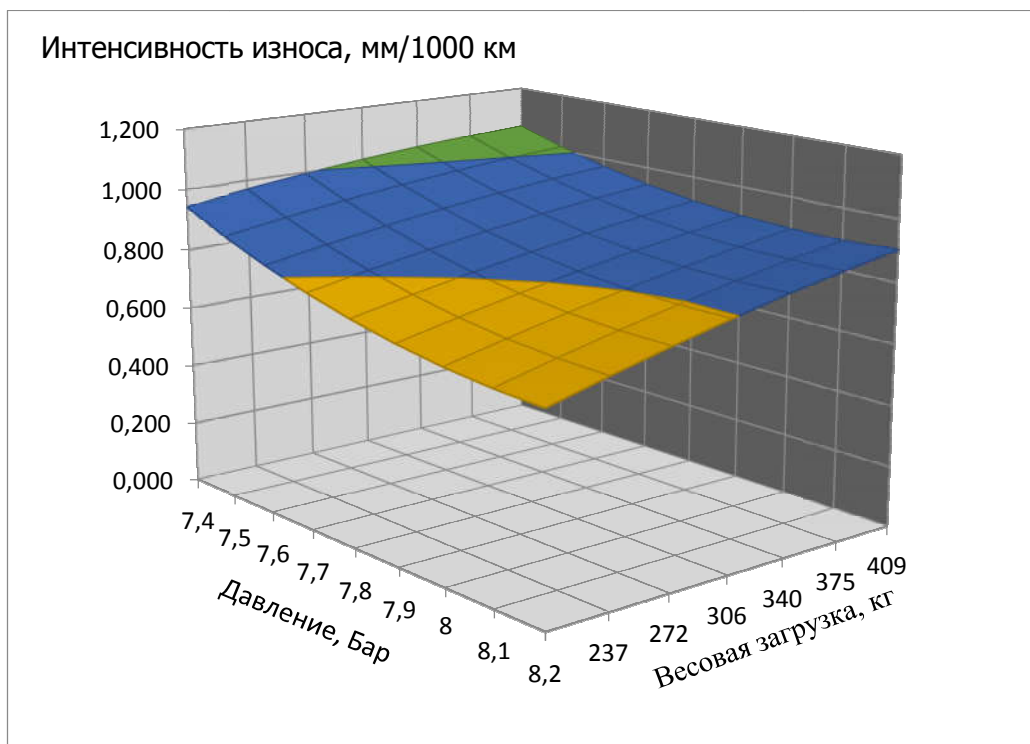


Рисунок 3.4 – Поверхность отклика регрессионной модели для маршрута Красноярск – Енисейск

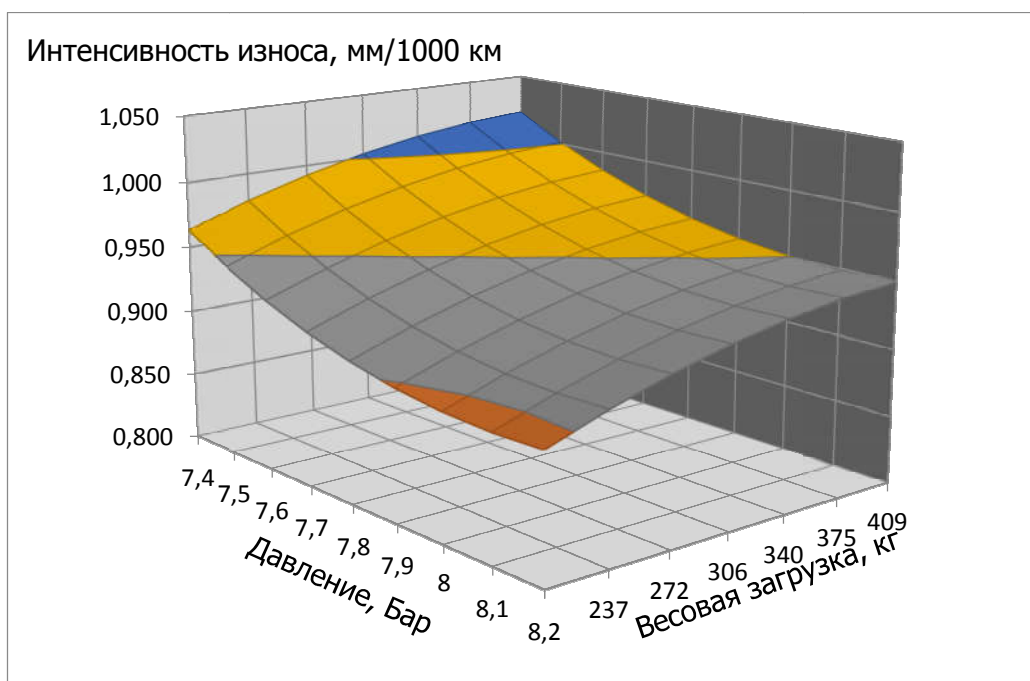


Рисунок 3.5 – Поверхность отклика регрессионной модели для маршрута Красноярск – Кемерово

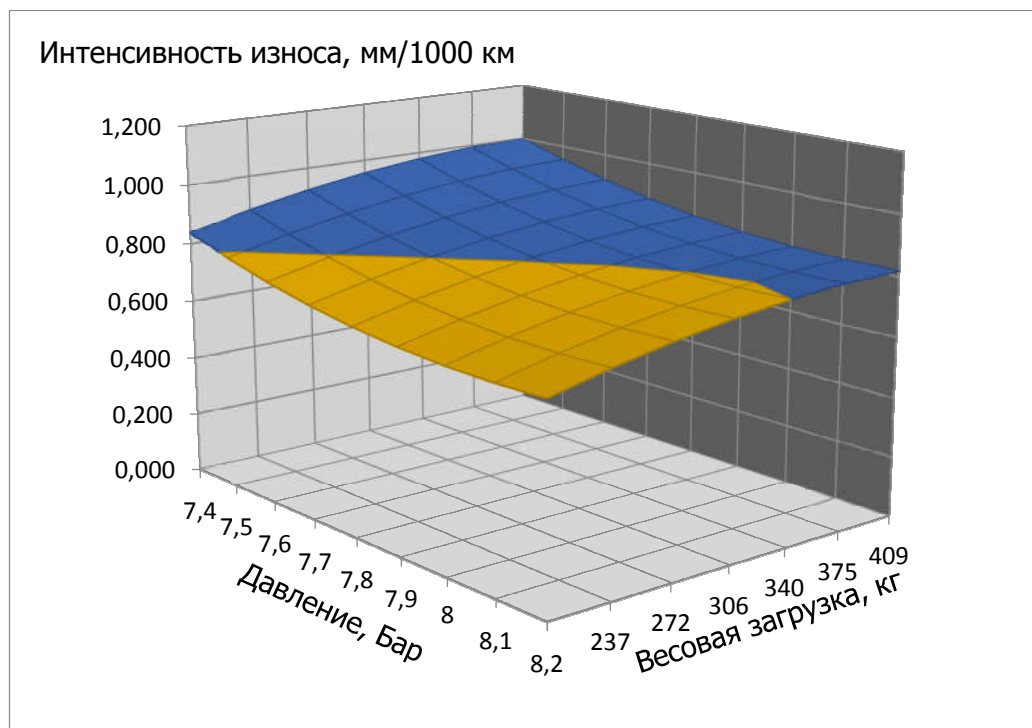


Рисунок 3.6 – Поверхность отклика регрессионной модели для маршрута Красноярск – Новокузнецк

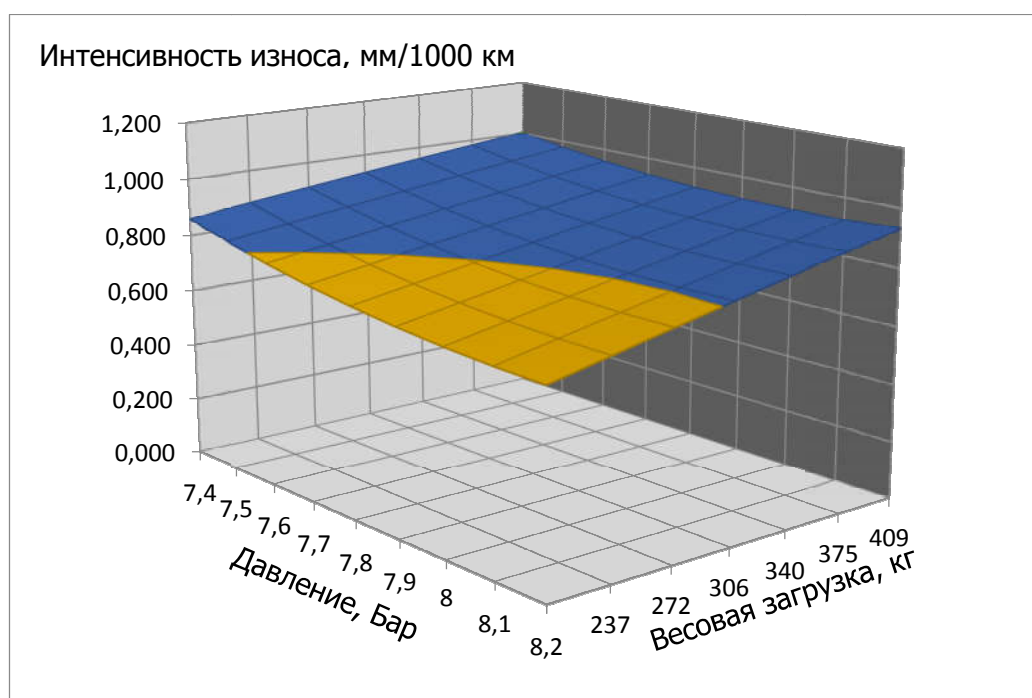


Рисунок 3.7 – Поверхность отклика регрессионной модели для маршрута Красноярск – Барнаул

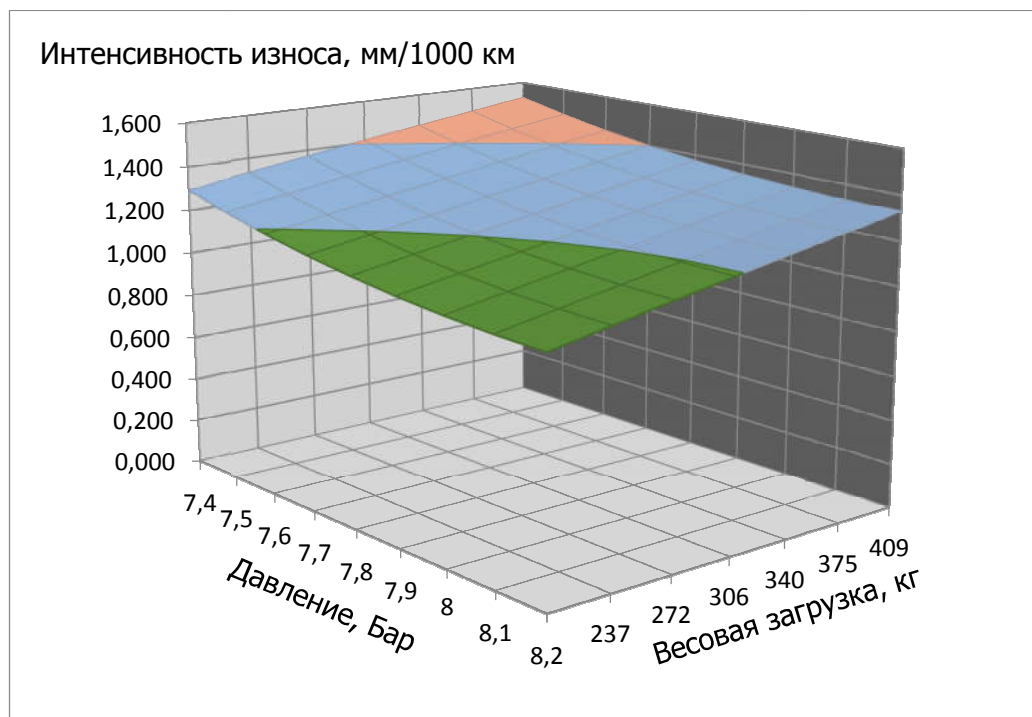


Рисунок 3.8 – Поверхность отклика регрессионной модели для маршрута Красноярск – Кызыл

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

4.1 Интерпретация результатов исследования

Перевод моделей с абстрактного математического языка на язык экспериментатора называется интерпретацией модели. Интерпретация – процесс, который проводится в несколько этапов. Он включает оценку величины и направления влияния отдельных факторов, их взаимодействий, сопоставление влияния совокупности факторов, проверку правильности априорных представлений и в некоторых ситуациях проверку и выдвижение гипотез о механизме процесса [3].

Первый этап заключается в следующем. Устанавливается, в какой мере каждый из факторов влияет на параметр оптимизации. Величина коэффициентов регрессии – количественная мера этого влияния. Чем больше коэффициент, тем сильнее влияет фактор. О характере влияния факторов говорят знаки коэффициентов. Знак плюс свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина параметра оптимизации, а при знаке минус – убывает. Интерпретация знаков при оптимизации зависит от того, ищем ли мы максимум или минимум функции отклика. Если $y \rightarrow \max$, то увеличение значений всех факторов, коэффициенты которых имеют знак плюс, благоприятно, а имеющих знак минус – неблагоприятно. Если же $y \rightarrow \min$, то наоборот, благоприятно увеличение значений тех факторов, знаки коэффициентов которых отрицательны.

В нашем случае, во всех моделях коэффициент фактора давления имеет отрицательный знак, это значит, что уменьшение этого фактора (уменьшение давления в шине) приводит к неблагоприятному последствию (увеличение интенсивности износа). Но в тоже время уменьшение другого коэффициента с

положительным знаком (нагрузка на шину), оказывает благоприятный эффект на интенсивность износа (его уменьшение).

Наиболее значимым фактором, по значению коэффициентов регрессии, является давление. Соответственно, параметр оптимизации будет наиболее сильно варьироваться в зависимости от значения фактора давления. Количественная мера остальных факторов (нагрузка на шину и квадраты фактора давления и нагрузки на шину) имеют примерно равнозначное влияние на параметр оптимизации. Парное сочетание факторов, несет наименьшее влияние, а иногда и вовсе отсутствует.

Приведенные выше сведения помогут осуществить переход к следующему этапу. Априорные сведения дают некоторые представления о характере действия факторов. Источниками таких сведений могут послужить теория изучаемого процесса, опыт работы с аналогичными процессами или предварительные опыт и т.д. Так же стоит учитывать тот факт, что эксперимент проводится в локальной области факторного пространства и коэффициент отражает влияние этого фактора только в этой области. Заранее не известно, в какой мере можно распространять результаты на другие области. В данном же случае такими априорными сведениями служат исследования в области технической эксплуатации шин. Чтобы подтвердить или опровергнуть соответствие расчетных значений априорным сведениям, необходимо построить зависимость, имеющую подобный этим сведениям вид. Априорная информация (рисунок 1.3) представляет собой кривую, построенную в двумерном пространстве, показывающую характер зависимости ресурса шин от внутреннего давления. В данном случае, получена трехмерная поверхность отклика, которая показывает характер зависимости интенсивности износа шин от двух факторов. Чтобы построить зависимость от одного фактора, необходимо рассмотреть кривую, полученную в сечении поверхности отклика параллельно оси координат рассматриваемого фактора. С аналитической точки зрения, необходимо «застопорить» какие-то из рассматриваемых факторов в каком-либо значении, а интенсивность рассчитать несколько раз, с постоянным

перебором принимаемых значений фактора по принципу от минимального к максимальному. В таком случае будет получен ряд значений, представляющих собой кривую, описывающую зависимость интенсивности износа от фактора давления. Ресурс шины I можно определить следующим отношением

$$I = \frac{H}{J_i}. \quad (4.1)$$

где H – глубина протектора новой шины за вычетом остаточной глубины протектора, при котором списывается шина, $H = 145 - 20 = 125$ мм; J – средняя интенсивность износа для i -го маршрута.

На рисунке 4.1 представлена зависимость, усредненная для моделей всех маршрутов.

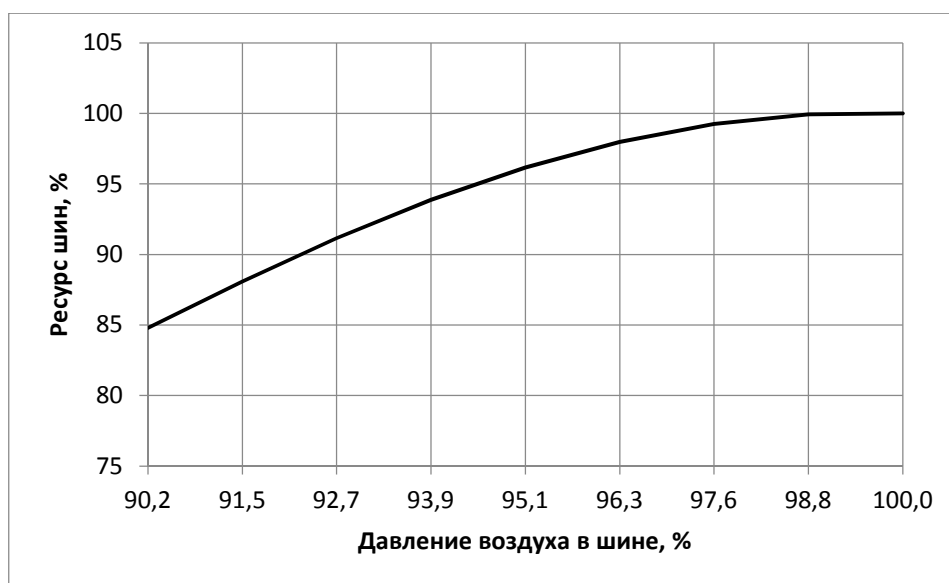


Рисунок 4.1 – Полученная зависимость ресурса шины от внутреннего давления

Полученная зависимость на рисунке 4.1 соответствует зависимости ресурса шин от давления, полученной многими авторами (рисунок 1.3). Сходство зависимостей говорит о соответствии полученных моделей априорным данным.

Таким же образом находилась зависимость ресурса от весовой нагрузки на шину (рисунок 4.2).

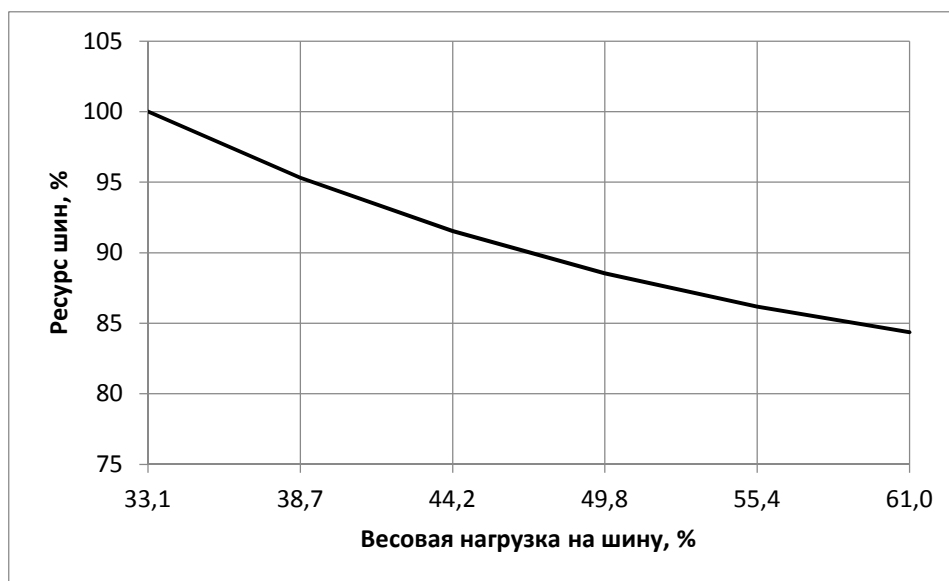


Рисунок 4.2 – Зависимость ресурса от весовой нагрузки на шину

Полученная зависимость ресурса от весовой нагрузки на шину (рисунок 4.2) похожа на зависимость из априорной информации, полученной из ранее проводимых исследований (рисунок 1.6). Однако характер кривой внешне немного отличается от априорной. То же самое можно сказать и о зависимости ресурса от давления в шине. Объясняется такая ситуация достаточно просто. Во-первых, модель учитывает влияние двух факторов на ресурс – их парное взаимодействие, где один фактор может усиливать или ослаблять влияние другого. Во-вторых, из-за пассивного характера эксперимента, была рассмотрена небольшая область факторного пространства, которая ограничена уровнем варьирования факторов. В этом случае некорректно рассматривать зависимость вне уровней варьирования факторов, потому как поведение модели вне области факторного пространства непредсказуемо.

4.2 Моделирование ресурса шин в зависимости от уровня варьирования факторов

На основе полученных моделей представляется возможным оценить ресурс шин при эксплуатации с разным давлением, весовой нагрузкой и в зависимости от маршрута. Это поможет:

- найти потерю ресурса шины вследствие ненормативного давления;
- установить нормативы ресурса шин для конкретных маршрутов эксплуатации автобусов;
- проводить корректировку ресурса в зависимости от среднего числа пассажиров на перегоне;
- оценить экономические потери при эксплуатации шин с ненормативным давлением.

Среднее давление в шинах, на котором эксплуатируются автобусы на ОАО «Автоколонна 1967» составило 7,47 Бар, тогда как нормативное давление 8,5 Бар. Нормативное давление считается таким давлением, при котором шина во время технической эксплуатации имеет наибольший ресурс. Но в данном случае, максимальный уровень варьирования фактора давления, полученный в ходе пассивного эксперимента, составил 8,2 Бар. Поскольку поведение регрессионных моделей вне области факторного пространства или за критическими точками уровней варьирования факторов имеет непредсказуемое поведение, за нормативное давление принимается самое близкое значение к значению, установленное заводом-изготовителем шин – 8,2 Бар.

Поскольку регрессионные модели двухфакторные, для определения зависимости ресурса только от давления, необходимо установить конкретное значение фактора весовой нагрузки на шину. Выбор значения этого фактора определялся исходя из среднего количества человек на перегоне – 22. Соответственно, используя формулы (3.7) и (3.8), средняя нагрузка на шину (без учета снаряженной массы автобуса) при среднем количестве пассажиров на перегоне составит около 300 кг.

Используя регрессионные модели (формулы (3.42)-(3.48)), произведем расчет ресурса для каждого маршрута с условиями: среднее давление – 7,47 Бар; нормативное давление – 8,2 Бар, весовая нагрузка на шину – 300 кг. Поскольку регрессионные модели производят расчет интенсивности износа, необходимо выполнить перерасчет в ресурс по формуле (4.1). Полученные значения представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расчетный ресурс шин при среднем и нормативном давлении

Маршрут	Ресурс		Разница, %
	при среднем давлении 7,47 Бар, тыс. км	при нормативном давлении 8,2 Бар, тыс. км	
Красноярск – Ужур	141,727	160,532	11,7
Красноярск – Шарыпово	115,661	131,481	12,0
Красноярск – Енисейск	130,095	157,082	17,2
Красноярск – Кемерово	127,018	134,019	5,2
Красноярск - Новокузнецк	137,976	160,507	14,0
Красноярск – Барнаул	138,942	154,515	10,1
Красноярск – Кызыл	91,926	104,730	12,2
в среднем по маршрутам	126,192	143,267	11,8

Как видно из таблицы 4.1, давление в шине имеет существенное влияние на ее ресурс, из-за чего может быть не реализовано около 12 % ресурса шин.

Расчетный ресурс шин, полученный при нормативном давлении, имеет фактор влияния весовой нагрузки на нулевом уровне (300 кг). Это значит, что полученные значения являются средним ресурсом по фактору весовой нагрузки на шину. Для прогнозирования ресурса с учетом влияния весовой нагрузки на шину, необходимо рассчитать ресурс при минимальной и максимальной нагрузке, не выходя, при этом, за область факторного пространства. В данном случае, минимальной нагрузке соответствует 203 кг, а максимальной – 409 кг, что соответствует 17 и 30 человекам в среднем на перегоне соответственно. Используя формулы (3.42)-(3.48), был определен нормативный интервал ресурса шин для каждого маршрута при нормативном давлении (8,2 Бар) и с учетом вариации весовой нагрузки на шину. Результат расчетов представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Интервалы нормативного ресурса шин при нормативном давлении 8,2 Бар с учетом весовой нагрузки на шину

Маршрут	Интервал нормативного ресурса, тыс. км		
	левая граница	середина интервала	правая граница
Красноярск – Ужур	149,051	165,859	196,453
Красноярск – Шарыпово	124,046	135,614	157,850
Красноярск – Енисейск	138,214	160,267	190,464
Красноярск – Кемерово	131,613	134,804	139,969
Красноярск - Новокузнецк	152,711	164,692	187,413
Красноярск – Барнаул	133,831	156,430	183,875
Красноярск – Кызыл	93,913	105,516	119,100
в среднем по маршрутам	131,911	146,169	167,875

Произведем такой же расчет, но уже для среднестатистического давления на предприятии (7,5 Бар), чтобы в итоге оценить фактическую потерю ресурса от двух факторов.

Таблица 4.3 – Интервалы ресурса шин при среднестатистическом давлении 7,5 Бар с учетом весовой нагрузки на шину

Маршрут	Интервал ресурса с среднестатистическим давлением, тыс. км		
	левая граница	середина интервала	правая граница
Красноярск – Ужур	133,787	145,582	167,285
Красноярск – Шарыпово	115,876	118,293	127,432
Красноярск – Енисейск	123,403	131,333	142,386
Красноярск – Кемерово	124,855	127,720	132,617
Красноярск - Новокузнецк	131,446	141,036	158,450
Красноярск – Барнаул	127,996	139,567	152,574
Красноярск – Кызыл	84,697	92,343	101,035
в среднем по маршрутам	120,294	127,982	140,254

Поскольку заранее неизвестно среднее количество пассажиров на перегоне, необходимо обозначать интервал, в котором шина достигнет остаточной высоты 2 мм. Для точного определения среднего количества пассажиров на перегоне можно применить методику теории планирования эксперимента и множественного регрессионного анализа [57, 58], что даст возможность прогнозировать ресурс в очень маленьком интервале наработки.

Середина интервала – математическое ожидание расчетного ресурса при ряде весовых нагрузок (203 кг, 237 кг, 272 кг, 306 кг, 340 кг, 375 кг, 409 кг). Поскольку полученная зависимость ресурса от весовой нагрузки на шину не линейна (рисунок 4.2), математическое ожидание будет смещено к какой-либо границе (левой или правой).

Средняя разница в ресурсе при эксплуатации шин с давлением 7,5 Бар и 8,2 Бар составила 18,187 тыс. км или 12 %.

4.3 Экономический эффект от использования системы мониторинга

Экономический эффект складывается из того, что система мониторинга постоянно информирует водителя и техническую службу о фактическом давлении в шинах. Соответственно, знания о фактическом давлении в конкретный момент времени, позволит существенно уменьшить отклонения давления в шинах от нормативного в среднем по парку. Это позволит избежать потерю ресурса шин и перерасход топлива, связанные с отклонениям давления.

В общем виде экономический эффект от экономии топлива и увеличения ресурса шин будет выглядеть следующим образом

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{ш} + \mathcal{E}_{т}. \quad (4.2)$$

Экономический эффект от шин рассчитывается исходя из разности ресурсов при эксплуатации с среднестатистическим давлением в шинах на предприятии (7,5 Бар), и при нормативном давлении (8,2 Бар)

$$\mathcal{E}_{ш} = Z_{ш} - Z'_{ш}, \quad (4.3)$$

где $Z_{ш}$ – затраты на шины, при эксплуатации с среднестатистическим давлением 7,5 Бар; $Z'_{ш}$ – затраты на шины, при эксплуатации с давлением 8,2 Бар.

По стандартной методике [13, 56, 41] затраты на шины одного автомобиля могут быть найдены по формуле

$$Z_{ш} = 0,01 \cdot L \cdot C_{ш} \cdot H_{ш} \cdot n_{ш}, \quad (4.4)$$

где L – годовой пробег автомобиля, $L = 120\,000$ км; $C_{ш}$ – стоимость одной шины, $C_{ш} = 15\,000$ руб.; $n_{ш}$ – количество шин на автобусе, $n_{ш} = 6$; $H_{ш}$ – норма определения затрат, которая находится по формуле

$$H_{ш} = \frac{90\%}{I}, \quad (4.5)$$

где I – значения нормативного эксплуатационного пробега шин, км.

Норма определения затрат для шин, эксплуатируемых с давлением 7,5 Бар

$$H_{ш} = \frac{90}{127982} = 0,000703.$$

Норма определения затрат для шин, эксплуатируемых с давлением 8,2 Бар

$$H_{ш} = \frac{90}{146169} = 0,000616.$$

Затраты на шины при эксплуатировании с давлением 7,5 Бар составят

$$Z_{ш} = 0,01 \cdot 120000 \cdot 15000 \cdot 0,000703 \cdot 6 = 75948,18 \text{ руб./автобус за год.}$$

Затраты на шины при эксплуатировании с давлением 8,2 Бар составят

$$Z'_{ш} = 0,01 \cdot 120000 \cdot 15000 \cdot 0,000616 \cdot 6 = 66498,37 \text{ руб./автобус за год.}$$

Используя формулу (4.3), был определен экономический эффект от увеличения ресурса шин

$$\mathcal{E}_{ш} = 75948,18 - 66498,37 = 9449,8 \text{ руб на 1 автобус в год.}$$

В общем виде экономический эффект от экономии топлива выглядят следующим образом

$$\mathcal{E}_m = Z_m - Z'_m, \quad (4.6)$$

где Z_m – затраты на топливо при эксплуатации автобусов со среднестатистическим давлением 7,5 Бар; Z'_m – затраты на топливо при эксплуатации автобусов с близким к нормативному давлению 8,2 Бар.

Затраты на топливо в год на один автобус определялись следующим образом

$$Z_m = \frac{L \cdot q \cdot C_m}{100} = \frac{120000 \cdot 27,35 \cdot 38,6}{100} = 1,266 \text{ 852 млн. руб.} \quad (4.7)$$

где L – средний годовой пробег, км; q – средний расход топлива по автобусам Daewoo BH 120 и Hyundai Universe Space Luxury, л/100 км; C_m – стоимость литра топлива, руб.

Согласно разным литературным источникам [18, 26, 50], снижение давления в шине на 10% дает повышение расхода топлива на 4-6%, соответственно, необходимо снизить средний расход топлива на 5% и повторить расчет затрат на топливо

$$З'_m = \frac{0,95 \cdot L \cdot q \cdot C_m}{100} = \frac{0,95 \cdot 120000 \cdot 27,35 \cdot 38,6}{100} = 1,203\,509 \text{ млн. руб.} \quad (4.8)$$

Тогда, используя формулу (4.3), получим экономический эффект от снижения расхода топлива на один автобус в год

$$\mathcal{E}_m = 1266852 - 1203509 = 63\,342 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Используя формулу (4.2), был определен общий экономический эффект от экономии топлива и увеличения ресурса

$$\mathcal{E} = 63\,342 + 9449,8 = 72791,8 \text{ руб на 1 автобус в год.}$$

Соответственно, экономия для всех рассматриваемых автобусов марок Daewoo BH 120 и Hyundai Universe Space Luxury (49 автобусов), составит 3 566 798 руб. в год.

4.4 Оценка эффективности инвестиций на внедрение системы мониторинга

Система мониторинга представляет собой набор из датчиков давления, информационного блока и разной вспомогательной периферии. На рисунке 4.3 представлен типичный комплект системы мониторинга давления в шинах Carax TPMS CRX-1061 на основе внутренних датчиков давления [68].



1 –приемный блок; 2 – кронштейн крепления с присоской; 3 – внутренние датчики давления;
4 – вентили; 5 – антенна; 6 – адаптер питания; 7 – вспомогательные устройства, 8 –
разветвитель антенного кабеля; 9 – антенна с кронштейном.

Рисунок 4.3 – Комплект мониторинга давления в шинах Carax TPMS CRX-1061 на основе датчиков внутреннего давления

Особенность системы мониторинга Carax TPMS CRX-1061 заключается в наличии двух усиленных антенн, которые позволяют использовать систему автобусах автомобилях, а так же внутренние колесные датчики, которые устанавливаются на обод вместо штатного вентиля, как показано на рисунке 4.4

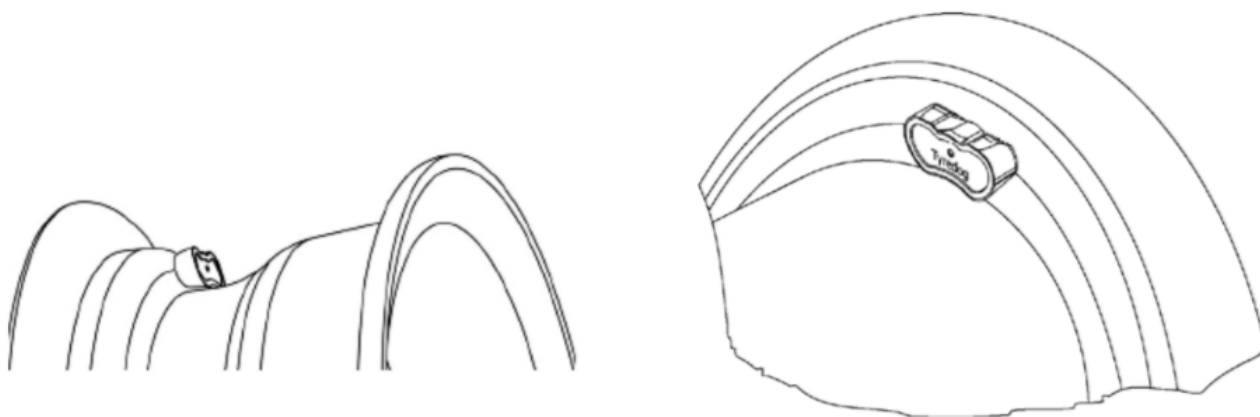
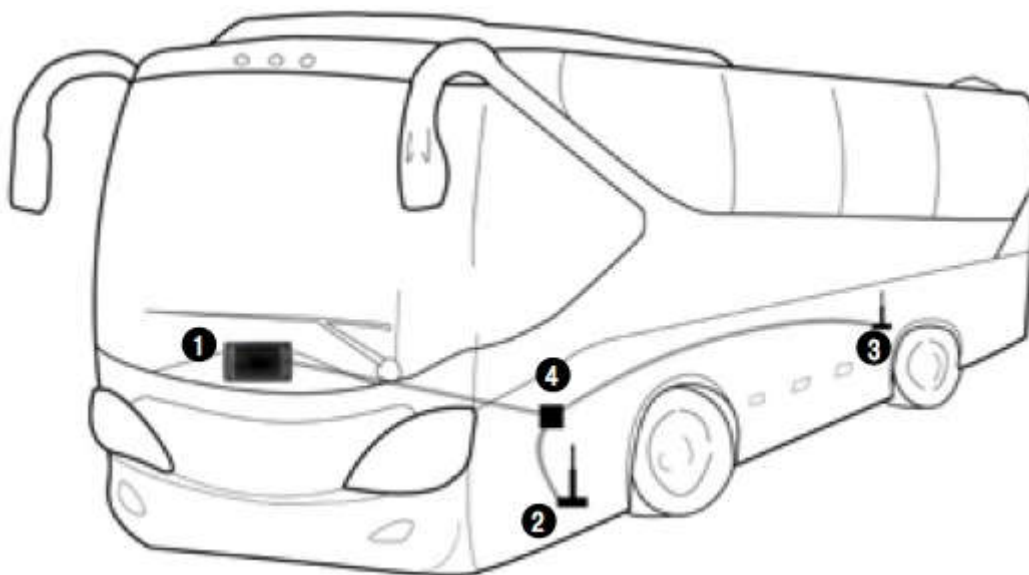


Рисунок 4.4 – Схема установки внутреннего колесного датчика давления

Система мониторинга, имеющая внутренние колесные датчики позволяет сохранить их от повреждений в процессе движения, а так же воздействия на них окружающей среды.

На рисунке 4.5 представлен вариант прокладки антенных кабелей и установки антенн,



1 – приемное устройство; 2 – антенна для передней оси; 3 – антенна для задней оси;
разветвитель антенного кабеля.

Рисунок 4.5 – Вариант прокладки антенных кабелей и установки антенн

Принцип действия системы заключается в следующем. В штатной ситуации датчики в каждом колесе определяют температуру и давление каждые 3 секунды и каждые 30 секунд передают информацию приемному блоку. В случае, если значения давления или температуры вышли за установленные пределы – датчик посылает 10 сигналов в течении 6 секунд в приемный блок, а приемный блок информирует об этом водителя звуковой и световой индикацией. Это предупредит водителя о том, что необходимо выполнить проверку колеса, о котором информирует приемный блок. Датчик так же переходит в режим тревоги, если давление изменится на 3 PSI (0,2 Бар) в течение 3 секунд, что позволит вовремя среагировать на повреждение шины и утечку давления.

В таблице 4.4 представлены основные технические характеристики внутренних датчиков давления системы мониторинга Carax TPMS CRX-1061.

Таблица 4.4 – Технические характеристики внутренних датчиков давления

Параметр	Значение
диапазон измеряемого давления	0-203 psi (0-14 Бар)
погрешность измерения	±3 psi
погрешность измерения температуры	±4 C
частота передатчика	433,92 MHz
источник питания	3,6В/500мА
срок службы источника питания	около 7 лет
вес датчика	30 ± 1,5г
стоимость по данным производителя	29 400 руб

Была произведена оценка затрат на внедрение системы мониторинга давления.

В общем виде затраты на внедрение оборудования выглядят следующим образом

$$C_{\text{в}} = C_{\text{м}} + C_{\text{об}}, \quad (4.10)$$

где C_m – затраты на монтаж оборудования; $C_{об}$ – затраты на покупку оборудования и амортизацию.

Затраты на монтаж оборудования

$$C_m = C_{н-ч} \cdot n \cdot t, \quad (4.11)$$

где t – трудоемкость установки оборудования, балансировки и накачки колеса, $t = 1,43$ чел.-ч; $C_{н-ч}$ – стоимость нормо-часа, $C_{н-ч} = 150$ руб.; n – количество ходовых шин $n = 6$.

Стоимость системы мониторинга давления в шинах, по данным сайта производителя, составляет 29 400 руб. Однако, производитель не указывает срок службы системы или отдельных ее компонентов, кроме элементов питания. Можно предположить, что оборудование для монитора давления является достаточно надежным и обслуживание, которое требуется – это замена элемента питания раз в 7 лет. Однако оборудование все равно подвергается физическому износу, а так же моральному износу второго вида – в следствие появления более экономичных и технически совершенных систем (например системы безбатарейного типа). На случай внезапных отказов компонентов оборудования или его морального устаревания необходимо формировать амортизационный фонд.

Согласно [55], предприятия самостоятельно определяют срок полезного использования основных фондов на дату ввода в эксплуатацию конкретного объекта на основании классификации основных средств, которая устанавливается Правительством Российской Федерации. Согласно [24], систему мониторинга давления можно отнести к четвертой амортизационной группе, это значит, что полезный срок использования составляет от 5 до 7 лет.

Как указано в [60], срок службы рассчитывается исходя из суммы чисел срока полезного использования оборудования

$$5+4+3+2+1=15 \text{ лет.}$$

Тогда, процент амортизационных отчислений составит

$$1\text{-й год: } 5/15=33,3\%;$$

$$2\text{-й год: } 4/15=26,7\%;$$

$$3\text{-й год: } 3/15=20\%;$$

$$4\text{-й год: } 2/15=13,3\%;$$

$$5\text{-й год: } 1/15=6,7\%.$$

Таблица 4.5 – Амортизационные отчисления на систему мониторинга

Год по порядку	Амортизационные отчисления в год, %	Амортизационные отчисления на 1 автобус в год, руб	Амортизационные отчисления на 49 автобусов в год, руб
1-й год	33,3	9 800	480 200
2-й год	26,7	7 840	384 160
3-й год	20	5 880	288 120
4-й год	13,3	3 920	192 080
5-й год	6,7	1960	96 040
Сумма	100	29 400	1 440 600

Затраты на покупку оборудования и амортизацию за 1-й год эксплуатации системы мониторинга

$$C_{\varepsilon} = C_{\text{м}} + C'_{\text{об}} + u, \quad (4.12)$$

где $C'_{\text{об}}$ – стоимость единицы комплекта системы мониторинга, $C'_{\text{об}} = 29\,400$ руб; u – амортизация за первый год эксплуатации. В последующие года затраты будут равны амортизации.

Используя формулу (4.10), были определены затраты на внедрение системы мониторинга.

Для одного автобуса

$$C_{\varepsilon} = 150 \cdot 1,46 \cdot 6 + 29400 + 9800 = 40514 \text{ руб.}$$

Для 49 автобусов

$$C_{\epsilon} = 49 \cdot (150 \cdot 1,46 \cdot 6 + 29400 + 9800) = 1\,985\,186 \text{ руб.}$$

Оценка эффективности инвестиций определяется в виде срока окупаемости

$$W = \frac{C_{\epsilon}}{\mathcal{E}} \cdot D, \quad (4.13)$$

где C_{ϵ} – вложения для внедрения систем мониторинга; \mathcal{E} – экономический эффект от экономии топлива и увеличения ресурса шин; D – количество дней в году.

Соответственно срок окупаемости проекта составит

$$W = \frac{1985186}{3566798} \cdot 365 = 203 \text{ дня.}$$

Исходя из срока окупаемости, инвестицию на внедрение системы мониторинга давления в шинах можно считать эффективной и актуальной.

4.5 Оценка экологического эффекта от внедрения системы мониторинга

Документ GRPE-65-20, представленный экспертом от Российской Федерации на докладе Рабочей группы по проблемам энергии и загрязнения окружающей среды (GRPE) в 2013 году в Женеве, содержащий анализ воздействия шинной пыли на качество воздуха и здоровье человека [15, 35] показывает, что в настоящее время, автомобильные шины, как источник продуктов износа до сих пор остаются вне поля зрения специалистов, занимающихся техническим нормированием. Долгое время считалось, что

размеры частиц продуктов износа протектора шин достаточно велики и не могут причинить вред здоровью человека. Однако, исследования американских врачей [70], обративших внимание на повышенную чувствительность к аллергическим и онкологическим заболеваниям жителей домов, расположенных вблизи автострад в городах, позволили предположить, что при естественном износе автомобильных шин в окружающую среду попадает значительное количество аэрозоля. Тщательно изучив его дисперсионный состав, при анализе состава воздуха на шоссе с умеренным движением автотранспорта, исследователи обнаружили присутствие от 3800 до 6900 фрагментов шин в каждом кубическом метре воздуха. Более 58% из них оказались размером менее 10 микрон и, следовательно, способны легко проникать в легкие человека, вызывая бронхиальную астму, аллергические реакции, а при контакте со слизистой оболочкой и кожей – ринит, конъюнктивит и крапивницу. При этом такая шинная пыль из организма человека практически не выводится. Похожие результаты были получены в исследованиях, проведенных в Москве [61], где 60% загрязняющих и опасных веществ городского воздуха являлась резина автомобильных покрышек, истертая в мелкую пыль.

По данным международного агентства по изучению рака (МАИР – специализированное подразделение Всемирной организации здравоохранения), представленным в статье [59], основным источником канцерогенной опасности для человека сейчас выступает загрязненный окружающий воздух. По последним данным этой организации 223 000 случаев смерти от рака легких, зарегистрированных в 2010 году в мире, вызваны именно загрязнением воздуха.

По данным исследования А. В. Леванчука [29], количество загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду в результате истирания протекторов шин при эксплуатации их на городских автобусах, составляет $67,79 \pm 3,35$ кг в год.

Факторы, рассмотренные в главе 1, влияют на интенсивность износа шин, соответственно с увеличением интенсивности износа шин, увеличивается масса

образовавшейся шинной пыли, появляющейся в пятне контакта шины с дорогой при движении автомобиля. Продукты истирания автомобильных шин содержат в себе концентрацию вредных токсических химических соединений таких как бенз(а)пирен, и N-нитрозамин, обладающих канцерогенным эффектом. Если сравнивать выбросы вредных веществ от шин и отработавших газов двигателя внутреннего сгорания (ДВС), то объем выбросов от шин составит 1% от выбросов ДВС (рисунок 4.6). Тогда как содержание вредных токсических соединений в выбросах шинной пыли, составляет существенную часть от выхлопных газов ДВС [29].

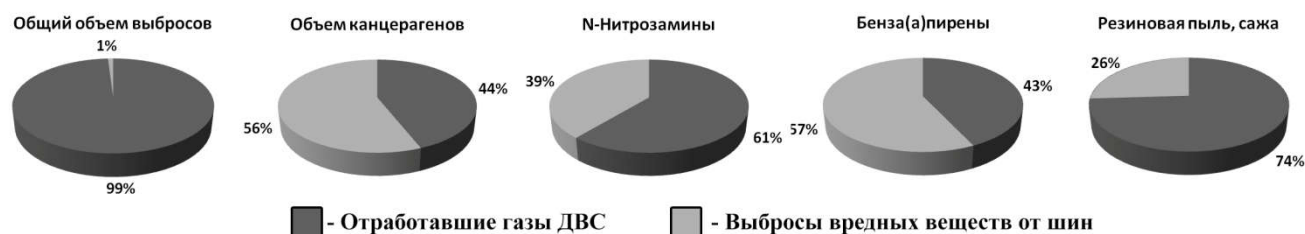


Рисунок 4.6 – Процентное соотношение вредных выбросов от отработавших газов и продуктов износа шин

В настоящее время за рубежом работы по уменьшению негативного воздействия шин на окружающую среду и человека ведутся в соответствии с Международными экологическими стандартами серии ISO 14000. И в первую очередь для снижения негативного влияния необходимо уменьшить токсичные компоненты, входящие в состав шины. Многие зарубежные страны, такие как Англия, Германия, Голландия, Дания, Канада, США, Швейцария уже ввели национальные нормы содержания канцерогенных веществ в резиновых изделиях. На территории Российской Федерации таких стандартов все еще нет, но их актуальность очевидна, тем более, что согласно [67], выделения летучих химических веществ из отечественных шин в 3-4 раза выше, чем у европейских аналогов. Во вторую очередь необходимо производить контроль факторов, влияющих на интенсивность износа шин, в первую очередь управляемых. Одним из таких факторов является внутреннее давление. Как показывают

разные источники [49, 19, 59] и регрессионные модели, снижение давления на 10-15% уменьшает ресурс шины на 10-30%, соответственно повышается интенсивность выброса вредных химических веществ.

На предприятии было произведено исследование веса шин вначале и в конце своей эксплуатации. Так было взвешено 14 новых шин и 24 изношенных для того, чтобы определить массу резиновой пыли, поступающую в окружающую среду.

Для взвешивания использовались бытовые напольные весы Rolsen RSL1807, имеющие абсолютную погрешность 0,1 кг, что позволило с достаточной точностью и без существенных затрат определить весовую характеристику шин.

По шинам, снятым с эксплуатации по причине износа протектора (24 шины), были найдены основные характеристики: средняя масса изношенной шины $L_{cp} = 47,2$ кг, среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1,04$ кг; коэффициент вариации $V = 0,02$.

На рисунке 4.7 представлена эмпирическая плотность распределения массы шин в конце эксплуатации.

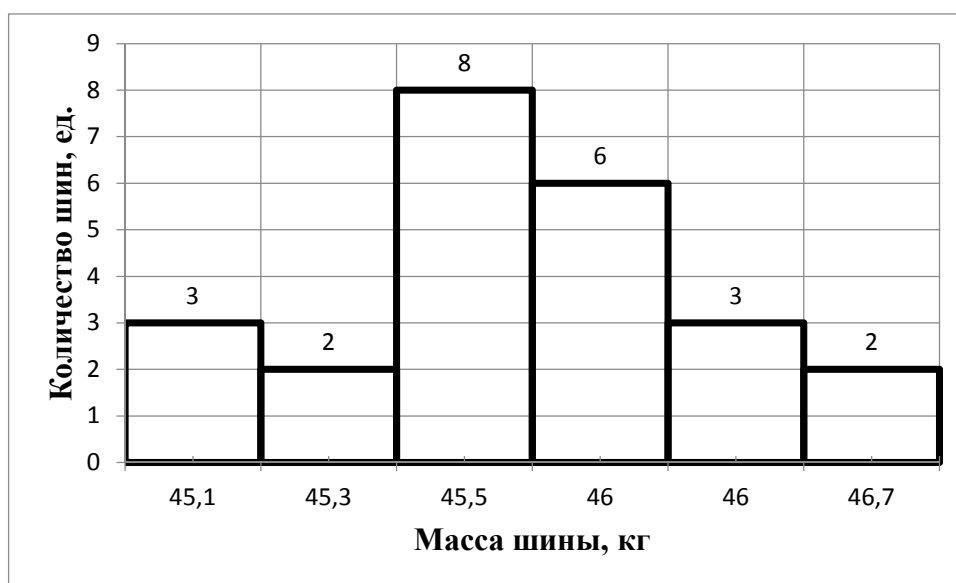


Рисунок 4.7 – Эмпирическая плотность распределения массы шин в конце срока эксплуатации

По новым шинам, приводить статистические характеристики и график эмпирической плотности распределения не имеет смысла, так как разброс значения составляет 0,1 кг, что можно списать на погрешность весов.

Определим выброс резиновой пыли в окружающую среду одной шиной

$$m_{7,5} = m_n - m_u = 52,85 - 47,2 = 5,65 \text{ кг}, \quad (4.14)$$

где m_n – масса новой шины, m_u – масса изношенной шины.

Значит, что одна шина за время своей эксплуатации, выбрасывает в окружающую среду в среднем 5,65 кг резиновой пыли, содержащей токсичные химические вещества, обладающие канцерогенным эффектом.

Определим выброс резиновой пыли от 49 автобусов при эксплуатации с среднестатистическим давлением 7,5 Бар и ресурсом 126 000

$$M = m \cdot n \cdot A_c = 5,65 \cdot 6 \cdot 49 = 1662 \text{ кг}, \quad (4.15)$$

где n – количество ходовых шин, A_c – количество рассматриваемых автобусов.

Чтобы определить снижение выбросов резиновой пыли в окружающую среду за год, необходимо найти разность масс выброса резиновой пыли при эксплуатации с среднестатистическим (7,5 Бар) и близким к нормативному (8,2 Бар) давлениям. В общем виде формула выглядит следующим образом

$$\Delta M = M_{7,5} - M_{8,2}, \quad (4.16)$$

где $M_{8,2}$ – масса выбросов резиновой пыли в окружающую среду при эксплуатации шины с давлением 8,2 Бар.

Для этого необходимо рассчитать дни эксплуатации шин при давлении 8,2 Бар и ресурсом 143 тыс. км

$$D_{8,2} = D \cdot \frac{L_{8,2}}{L} = 365 \cdot \frac{143000}{120000} = 435 \text{ дней}, \quad (4.17)$$

Дни эксплуатации шин при давлении 7,5 Бар и ресурсом 126 тыс. км.

$$D_{7,5} = D \cdot \frac{L_{7,5}}{L} = 365 \cdot \frac{126000}{120000} = 383 \text{ дня}. \quad (4.18)$$

Поскольку шина при любом сроке эксплуатации выбросит в атмосферу 1662 кг резиновой пыли, найдем удельную массу выброса резиновой пыли в день с 49 автобусов и при эксплуатации с давлением 8,2 Бар

$$m_{8,2} = \frac{M}{D_{8,2}} = \frac{1662}{435} = 3,82 \text{ кг}. \quad (4.19)$$

Удельная масса выбросов резиновой пыли в день с 49 автобусов при эксплуатации с давлением 7,5 Бар

$$m_{7,5} = \frac{M}{D_{7,5}} = \frac{1662}{383} = 4,34 \text{ кг}. \quad (4.20)$$

Масса выбросов за год резиновой пыли для шин при эксплуатации с давлением 8,2 Бар с 49 автобусов составит

$$M_{8,2} = m_{8,2} \cdot D = 3,82 \cdot 365 = 1394 \text{ кг}. \quad (4.21)$$

Масса выбросов за год резиновой пыли для шин при эксплуатации с давлением 7,5 Бар с 49 автобусов составит

$$M_{7,5} = m_{7,5} \cdot D = 4,34 \cdot 365 = 1583 \text{ кг.} \quad (4.22)$$

Снижение выбросов при контроле давления

$$\Delta M = M_{7,5} - M_{8,2} = 1583 - 1394 = 189 \text{ кг.} \quad (4.23)$$

Если аналогичным образом вычислить выброс резиновой пыли для остальных промежуточных значений давления, то можно построить зависимость выброса резиновой пыли в окружающую среду от давления, на котором эксплуатируется шина (рисунок 4.8).

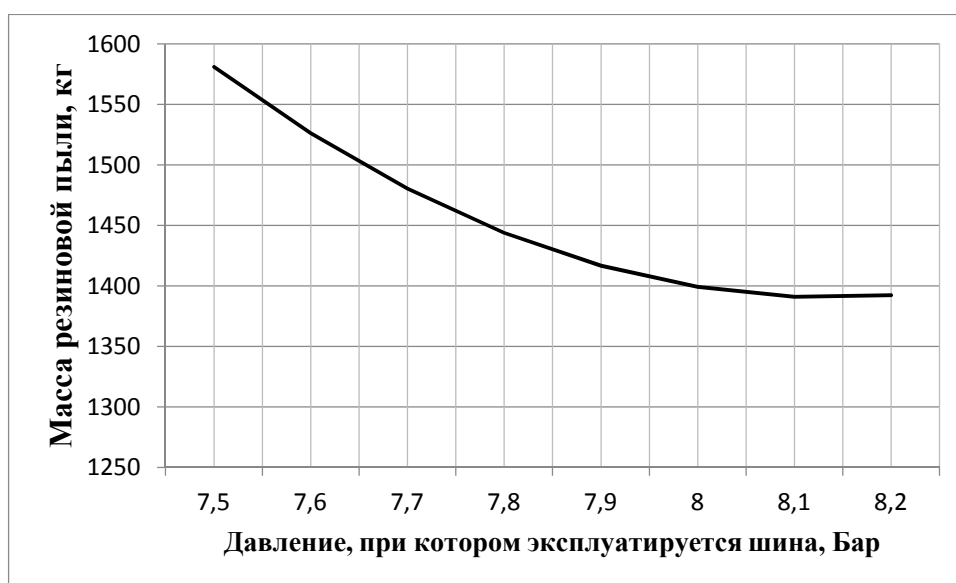


Рисунок 4.8 – Зависимость выброса резиновой пыли от давления в шине

При эксплуатации шин с нормативным давлением, снижается расход топлива автомобилями. При снижении расхода топлива уменьшается выброс вредных веществ в окружающую среду. Количество вредных веществ в отработавших газах дизельных двигателей рассчитывается в зависимости от количества израсходованного топлива

Масса оксида углерода (CO) в отработавших газах двигателя

$$m_{CO} = 0,0284 \cdot \rho \cdot Q. \quad (4.24)$$

Масса углеводорода (CH) в отработавших газах двигателя

$$m_{CH} = 0,0091 \cdot \rho \cdot Q. \quad (4.25)$$

Масса оксидов азота (NO_x) в отработавших газах двигателя

$$m_{NOx} = 0,0408 \cdot \rho \cdot Q, \quad (4.26)$$

где ρ – удельный вес топлива (для дизтоплива 0,825 кг/л); Q – разница расхода топлива при давлении 8,2 Бар и при давлении 7,5 Бар за год эксплуатации 49 автобусов, которая находится по формуле

$$Q = \frac{0,05 \cdot q \cdot A_c \cdot L}{100} = \frac{0,05 \cdot 27,35 \cdot 49 \cdot 120000}{100} = 4020,45 \text{ литров.} \quad (4.27)$$

где q – расход топлива, л/100 км; A_c – рассматриваемое количество автобусов.

Таким образом, при эксплуатации шин с давлением 8,2 Бар, масса выбросов оксида углерода (CO), углеводорода (CH) и оксидов азота (NO_x) снизятся на

$$m_{CO} = 0,0284 \cdot 0,825 \cdot 4020,45 = 94,2 \text{ кг,}$$

$$m_{CH} = 0,0091 \cdot 0,825 \cdot 4020,45 = 30,18 \text{ кг,}$$

$$m_{NOx} = 0,0408 \cdot 0,825 \cdot 4020,45 = 135,33 \text{ кг.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа научно-исследовательских работ по теме исследования, выделены наиболее значимые факторы: давление в шине и весовая нагрузка.

2. Определены параметры ресурса шин автобусов ОАО «Автоколонна 1967»: средний ресурс $L_{cp} = 143$ тыс. км; коэффициент вариации $V = 0,09$; распределение ресурса подчиняется закону Вейбулла-Гнеденко; средняя остаточная глубина протектора – 2 мм; среднее давление в шинах – 7,47 Бар.

3. С использованием теории планирования многофакторного эксперимента проведены исследования интенсивности износа шин, разработаны регрессионные модели для 7 маршрутов, которые позволяют количественно оценивать влияние давления и весовой нагрузки на ресурс шин. Данные модели позволяют прогнозировать и управлять ресурсом шин на основе использовании систем мониторинга давления в шинах.

4. Согласно расчетным данным, при непрерывном контроле давления, ресурс шин можно повысить в среднем на 12 %, что в денежном эквиваленте составит 3 566 798 руб. в год на 49 автобусов ОАО «Автоколонна 1967».

5. Вследствие мониторинга давления и увеличения ресурса шин, снизится выброс в окружающую среду вредной резиновой пыли: снижение выбросов которой составит 189 кг на 49 автобусов в год.

6. Снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами в следствие снижения расхода топлива: выбросы оксида углерода (CO) снизятся на 94,2 кг, углеводородов (CH) на 30,18 кг и оксидов азота (NO_x) на 135,33 кг.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

РЦКП – ротатабельное центрально-композиционное планирование .

ОЦКП – ортогональное центрально-композиционное планирование.

TPMS – (англ. Tire Pressure Monitoring System) система мониторинга давления в шинах.

ТО – техническое обслуживание.

АТП – автотранспортное предприятие.

АТС – автотранспортное средство.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абакумов, Г. В. Корректирование давления воздуха в шинах при эксплуатации автомобилей зимой: автореф. дис. на соиск. степ. канд. техн. наук (05.22.10) / Абакумов Георгий Васильевич – Тюмень, 1999. – 24 с.
2. Абрамов, В. Н. Обеспечение сохраняемости и долговечности шин и резинотехнических изделий автомобильного транспорта: автореф. дис. на соиск. учен. степ. док-ра. техн. наук (05.20.03) / Абрамов Вячеслав Николаевич – Москва, 2006. – 40 с.
3. Адлер, Ю. Л. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. Л. Адлер. – Москва: изд-во Наука, 1976. – 277 с.
4. Алаэдин, А.М. Разработка системы оперативного управления ресурсом шин в автотранспортных предприятиях (на примере автобуса ЛиАЗ-677): дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.22.10) / Алаэдин Али Мустафа – Москва, 1984. – 205 с.
5. Булгаков, Н. Ф. Управление качеством профилактики автотранспортных средств. Моделирование и оптимизация: учеб. пособие. изд. 2-е стереотип. / Н. Ф. Булгаков, Ц. Ц. Бурхиев. Красноярск, 2004. – 184 с.
6. Бутковский, О. Я. Погрешность измерений: учебное пособие / О. Я. Бутковский, О. Д. Бухарова, А. А. Кузнецов, под. ред. А. А. Кузнецова – Владим. гос. ун-т – Владимир, 1998 – 68 с.
7. Вексельман, В. А. Исследование относительной износостойкости грузовых шин в условиях эксплуатации: дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. / В. А. Вексельман, Москва. – 206 с.
8. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский – 2-е изд., перераб и доп. – Москва: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

9. Володина, Т. Н. Исследование характеристик пневматических шин для прогнозирования их износостойкости: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (01.02.06) / Володина Татьяна Николаевна – Москва, 2002. – 53 с.

10. Гечекбаев, Ш. Д. Разработка методики прогнозирования давления в шинах АТС и повышение его стабильности за счет использования внутреннего газопроницаемого пневматического аккумулятора: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.22.10) / Гечекбаев Шихмагомед Джамалдинович – Волгоград, 2011. – 16 с.

11. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения.

12. Государственный стандарт СОЮЗА ССР. Шины пневматические. Методы определения износостойкости шин при дорожных испытаниях.

13. Гудков, Д. В. Разработка методики нормирования пробега автобусных шин в условиях эксплуатации: дис. канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 18.06.99 / Гудков Дмитрий Владиславович. – Волгоград, 1999. – 160 с.

14. Дамзен, В. А. Повышение безопасности и ресурса автомобильных шин: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.22.10) / Дамзен Виктор Александрович – Орел, 2009. – 20 с.

15. Доклад Рабочей группы по проблемам энергии и загрязнения окружающей среды (GRPE) о работе ее 65 сессии (15-18 января 2013 года) [Электронный ресурс]. Организация Объединенных наций. Экономический и Социальный Совет. Европейская экономическая комиссия. – Режим доступа: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2013/wp29grpe/ECE-TRANS-WP29-GRPE-65r.pdf>.

16. Завадский, Ю. В. Планирование эксперимента в задачах автомобильного транспорта – Учебное пособие / Ю. В. Завадский, Москва: МАДИ, 1978. – 156 с.

17. Захаров, Н. С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей: дис. на соиск. учен. степ. док-ра техн. наук (05.22.10) / Захаров Николай Степанович – Тюмень, 2000. – 509 с.

18. Захаров, Н. С. Корректирование давления воздуха в шинах при эксплуатации автомобилей зимой / Н. С. Захаров, Г. В. Абакумов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 162 с.
19. Захаров, Н.С. Корректирование давления воздуха в шинах при эксплуатации автомобилей зимой: монография / Н. С. Захаров, Г. В. Абакумов. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 162 с.
20. Истирание резин. / Под ред. Г. Н. Бродского – Москва: Химия, 1975. – 240 с.
21. Казаков, А. В. Планирование эксперимента и измерение физических величин: учеб. пособие / А. В. Казаков. – Пермь: изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 89 с.
22. Касаткина, Э. Ф. Разработка и исследование системы автоматизированного учета и управления затратами на шины: дис. канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 28.03.00 / Касаткина Элла Феликсовна. – Владимир, 2000. – 175 с.
23. Кислицин, Н. М. Долговечность автомобильных шин в различных режимах давления / Н. М. Кислицин – Н. Новгород: Волго-Вятское кн. изд-во, 1992. – 232 с.
24. Классификация основных средств, включаемых в амортизационные группы: постановление Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 07.07.2016)
25. Кленников, Е. В. Шины легковых автомобилей / Е. В. Кленников – М.: Транспорт, 1979. – 49 с.
26. Кнороз, В. И. Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз, Е. В. Кленников – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
27. Кузьмин, Н. А. Закономерности изменения работоспособности автомобилей: учеб. пособие / Н. А. Кузьмин, Г. В. Борисов. Нижегород. гос. техн. ун-т им Р.Е. Алексеева – Нижний Новгород, 2014. – 249 с.
28. Кузьмин, Н. А. Основы работоспособности технических систем: конспект лекций / Н. А. Кузьмин, Г.В. Борисов – Нижний Новгород, 2015. – 165 с.

29. Леванчук, А. В. Гигиеническая характеристика воздушной среды в зоне влияния дорожно-автомобильного комплекса [Электронный ресурс] Журнал медицина и образование в Сибири. Сетевое научное издание Новосиб. Гос. Мед. ун-та. – Режим доступа: http://ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=1627.

30. Лохина, П. И. Влияние дорожного покрытия на износ протектора автомобильных шин / П.И. Лохина – Москва: НИИШИ, 1964.

31. Лямзин, А. М. Оценка приспособленности шин к низкотемпературным условиям эксплуатации: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.22.10) / Лямзин Александр Михайлович. – Тюмень, 2009. – 20 с.

32. Мера точности измерения структурных и косвенных диагностических параметров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.novsu.ru/npe/files/um/1128/umk/OTND/Glava_7/glava_7_1.htm. (Дата обращения: 5.06.17).

33. Муртузов, М. М. Математическое обоснование способов увеличения интервалов между восстановлениями нормативного давления в шинах АТС: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.22.10) / Муртузов Муртуз Магомедович – Волгоград, 2012. – 16 с.

34. Налимов, В. В. Статистические методы планирования экспериментальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова – Москва: Наука, 1965. – 341 с.

35. О выбросе твердых частиц автомобильными шинами [Электронный ресурс]. Представлено экспертом РФ. Неофициальный документ GRPE-65-20 (65-я сессия GRPE, 15-18 января 2013 г, пункт повестки дня 16). – Режим доступа: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2013/wp29grpe/GRPE-65-20r.pdf>.

36. О системе TPMS: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.parkmaster.ru/catalog/auto/tpms-systems-principle/>. (Дата обращения: 20.05.2016).

37. Олейников, А. В. Методика оценки величины пассажиропотоков и пассажирских корреспонденций поездок / А. В. Олейников, В. А. Васильев, А.

А. Суетова // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса. Материалы 4-ой Международной научно-практической интернет-конференции. Под общей редакцией А. Н. Новикова. – Орел, 2014. - № 1. – С. 85-92.

38. Олейников, А. В. Методы принятия решений: метод указания к практическим работам / сост. А. В. Олейников, В. А. Васильев. – Абакан: Сиб. Фед. ун-т; ХТИ – филиал СФУ, 2008. – 36 с.

39. Олейников, А. В. Модель оценивания величины пассажиропотоков на маршрутах городского и общественного пассажирского транспорта в г. Абакан / А. В. Олейников, В. А. Васильев, А. А. Суетова, Ю. В. Цыганков // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса. Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. – Орел, 2012. – № 1. – С. 82-88.

40. Рахимов, Р. Х. Разработка системы оперативного управления ресурсом в эксплуатации: дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / Р. Х. Рахимов, Москва, 1982.

41. Рекомендации по нормам эксплуатационного ресурса шин и методика определения норм на восстановление износа и ремонт автомобильных шин [Электронный ресурс]: Портал нормативных документов. – Режим доступа: <http://www.opengost.ru/iso/11768-rekomendacii-po-normam-ekspluatacionnogo-resursa-shin-i-metodika-opredeleniya-norm-na-vosstanovlenie-iznosa-avtomobilnyh-shin.html>.

42. Россия в цифрах 2016: крат. стат. сб. / Росстат- М., 2016 – 543с.

43. Сергеев, А. Г. Точность и достоверность диагностики автомобиля / А. Г. Сергеев – Москва: Транспорт, 1980. – 188 с.

44. Сидельников, Г. В. Совершенствование нормирования маршрутного ресурса шин городских автобусов в эксплуатации: дис. канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 02.11.12 / Сидельников Геннадий Васильевич. – Орел, 2012. – 192 с.

45. Системы контроля давления воздуха в шинах. Программа для самообучения 347. Конструкция и принцип действия. Service Training: Volkswagen ag, Вольфсбург, Brieffach, 1995. – 56 с.

46. Слюдилов, Л. Д. Повышение ресурса автомобильных шин: автореф. дис. на соиск. учен. степ. док-ра. техн. наук (05.17.12) / Слюдилов Леонид Давыдович – Москва, 1993. – 43 с.

47. Слюсарнеко, А. М. Новый метод измерения износа протектора шин с применением радиоактивных веществ / А. М. Слюсаренко. Химия – Москва, 1969. – 248 с.

48. Сыроева, С. А. Актуальные технологии применения датчиков автомобильных систем активной безопасности // Журнал «Экспресс электроника: компоненты и технологии» №8. Москва, 2007. – 24-32 с.

49. Сычев, А. В. Разработка методики расчета изменений давления газа в шинах и мероприятий по его стабилизации: дис. канд. техн наук: 05.22.10: защищена 14.11.07 / Сычев Александр Васильевич. – Волгоград, 2007. – 120 с.

50. Тарновский, В. Н. Как увеличить пробег шин. Советы автолюбителям / В. Н. Тарновский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков. – М. :Транспорт, 1993. – 33 с.

51. Техническая эксплуатация автомобилей / под. ред. Г. В. Крамаренко, - М.: Транспорт, 1972. – 436 с.

52. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов – 4е изд., перераб. и дополн. / Е.С. Кузнецов, - М: Наука, 2001. – 535 с.

53. Третьяков, О. Б. Автомобильные шины. Конструкция, механика, свойства, эксплуатация / О.Б. Третьяков, В.А. Гудков, А.А. Вольнов, В.Н. Тарновский. – М.: КолосС, Химия, 2007. – 432 с.

54. Третьяков, О. Б. Воздействие шин на окружающую среду и человека [Электронный ресурс]. О. Б. Третьяков, В. А. Корнев, Л. В. Кривошеева: НЕФТЕХИМПРОМ, Москва. – Режим доступа: <http://refer.in.ua/major/233/49088/>.

55. Туревский, И. С. Экономика отрасли (автомобильный транспорт): учебник. – М. : ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2011. – 288 с.

56. Устаров, Р. М. Прогнозирование пробега автомобильных шин, эксплуатируемых в условиях переменного рельефа местности: дис. канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 20.04.12 / Устаров Рамазан Магомедярагиевич. – Волгоград, 2012. – 190 с.

57. Федеральный закон от 13.07.2015 N 220-ФЗ "Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".

58. Федоренко, М. П. Математика и кибернетика в экономике. Словарь справочник / М. П. Федоренко, Москва: Экономика, 1975. – 700 с.

59. Хвалев, П. В. Анализ факторов, влияющих на износ автомобильных шин [Электронный ресурс]. Материалы VIII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2017/pdf/31778.pdf>.

60. Хегай, Ю. А. Экономика автомобильного транспорта: учебное пособие / Ю. А. Хегай, В. В. Девинаова, К. А. Мухина – Красноярск, 2012. – 229 с.

61. Хесин, А. М. Канцерогенная опасность шин // А. И. Хесин, М. Е. Скудатин, В. Н. Ушмодин: Национальная безопасность и геополитика России / № 10-11 (51-52), 2003г.

62. Юсупов, А. А. Разработка новой конструкции и технологии изготовления безопасной шины: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.17.06) / Юсупов Александр Асхатович – Москва, 2005. – 24 с.

63. Яковенко, В. И. Метод повышения износостойкости пневматических шин: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.05.03) / Яковленко Владимир Иванович – Москва, 2004. – 24 с.

64. Янчевский, В. А. Определение давления без вскрытия вентиля // В. А. Янчевский, С. Гезалов. Автомобильный транспорт. – 1992. – с. 42-43.

65. Янчевский, В. А. Основные пути рационального использования шин на автомобильном транспорте: обзор. - М., 1987. - 57 с. - (Автомобильный транспорт / Минавтотранс РСФСР. ЦБНТИ; Вып. 7).
66. Box, G. E. P. Multifactor Experimental Designs for Exploring Response Surfaces / G. E. P. Box, J. S. Hunter – Annals of Mathematical Statistics, 1957. – 195 с.
67. Box, G. E. P. The Choice of a Second Order Rotatable Design / G. E. P. Box, N. R. Draper – Biometrika, 1963. – 355 с.
68. Carax TPMX CRX-1061 [Электронный ресурс]: TPMS датчики давления Carax. Легковые, грузовые. – Режим доступа: <http://carax.ru/taxonomy/term/541#compl>.
69. Michelin: Общие рекомендации. Легковые автомобили. Издание 2010 / 2010. – 23 с.
70. Montague, Peter. Tire Dust // Rachel's Environment & Helth Weekly. 1995. № 439, April 27.
71. Motor Vehicle Safety Standards; Tire Pressure Monitoring Systems; Controls and Displays: Federal: [Электронный ресурс] URL: <http://www.nhtsa.dot.gov/cars/rules/rulings/TirePresFinal/TPMSfinalrule.pdf> (Дата обращения: 1.04.2017).